

T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ

KAPGEM

KAMU POLİTİKALARI ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME MERKEZİ

KURAKLIKLA MÜCADELE POLİTİKA RAPORU



“Suyu yönetmek, geleceği yönetmektir”

Editör

Prof. Dr. Fatih KIRIŞIK

Hazırlayanlar

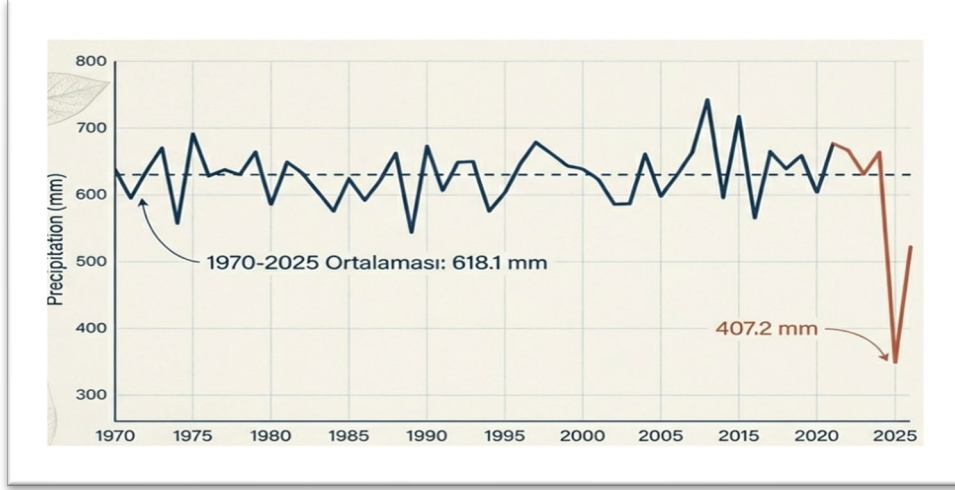
Doç. Dr. Ertuğrul ESMERAY
Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA
Doç. Dr. Ayhan KOCAMAN
Doç. Dr. Songül KASKUN ERGANİ
Dr. Öğr. Üyesi Saim YILDIRIMER
Mehmet Selami GÜLER
Shams Ayad İBRAHİM

KAPGEM-12

16.02.2026

GİRİŞ

İklim değişikliği, nüfus artışı, hızlı kentleşme ve tarımsal baskılar, su kaynakları üzerindeki stresi her geçen gün artırmakta; kuraklık, yalnızca meteorolojik bir olgu olmaktan çıkarak ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları olan yapısal bir risk haline gelmektedir. Dünya genelinde yıllık yaklaşık 324 milyar m³ tatlı su kaybolmaktadır, bu miktar yaklaşık 280 milyon insanın yıllık su ihtiyacına eşdeğerdir. Türkiye’de 2025 su yılında¹ 407.2 mm yağış düşmüş ve 618.1 mm olan 1970-2025 yılları arasındaki normal değerine göre %34 azalmıştır. Meteoroloji genel müdürlüğünün raporundan alınmış 1970-2025 yılları arasındaki ortalama yıllık yağış miktarlarının gösterildiği Şekil 1’de durumun kritikliği kolaylıkla anlaşılabilir. Bu yıllar arasındaki en düşük yağış ortalaması 2025 yılında görülmüştür.



Şekil 1. Ülkemiz 1970-2025 yılları yıllık ortalama yağış değerlendirmesi (M.G.M, 2025)

Yağışlardaki azalış ve su kaynaklarının yeterince yenilenememesi, mevcut su yönetim yaklaşımlarının gözden geçirilmesini ve veri temelli, sürdürülebilir politikaların uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Kuraklıkla mücadele, yalnızca yeni kaynak arayışına değil; mevcut suyun korunmasına, kayıpların azaltılmasına ve verimli kullanımına dayanmalıdır.

Bu kapsamda su kayıp ve kaçaklarının önlenmesi, yeraltı suyu kullanımının denetlenmesi, yüzeysel sularda buharlaşmanın azaltılması ve sanayide Sıfır Sıvı Deşarjı (ZLD) gibi uygulamalar arz güvenliğini güçlendiren temel araçlardır. Arıtılmış suyun yeniden kullanımı, yağmur suyu hasadı ve kurakçıl peyzaj gibi doğa temelli çözümler ise talebi azaltarak suyun sistem içinde daha uzun süre tutulmasını sağlamaktadır. Kuraklık yönetiminde su kullanım haritaları, kuraklık indeksleri, uydu verileri ve erken uyarı sistemleri gibi bilimsel araçlar, risklerin önceden belirlenmesine ve etkili müdahalelere olanak tanımaktadır. Havza bazlı su yönetimi yaklaşımı da sektörler arası uyumu güçlendiren bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

Bu politika raporu; yukarıda belirtilen yöntem ve uygulamaları bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, kuraklıkla mücadelede uygulanabilir, sürdürülebilir ve bilimsel temelli bir yol haritası sunmayı amaçlamaktadır. Rapor, merkezi ve yerel yönetimler başta olmak üzere ilgili tüm paydaşlar için politika geliştirme ve uygulama süreçlerine rehberlik edecek stratejik politikalar ve çözüm önerileri ortaya koymayı hedeflemektedir.

Rapor ilgili başlıklar ve bu başlıklardaki politikalar ve çözüm önerileri şeklinde oluşturulmuştur. Konu başlıkları ile ilgili geniş ve detaylı bilgilere bu rapora paralel bir şekilde hazırlanan “**Kuraklıkla Mücadele Politikası**” kitabı üzerinden ulaşılabilecektir.

¹ 1 Ekimde başlayıp 30 Eylülde biten bir hidrolojik terimdir.

1. SU KAYIP VE KAÇAKLARI İLE MÜCADELE

1.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

1. Fiziksel Altyapı İyileştirmeleri

- **Boru Yenileme ve Altyapı Modernizasyonu:** Eski çelik ve beton boruların PVC veya PE gibi dayanıklı malzemelerle değiştirilmesi. Kazı masraflarını önleme amaçlı mevcut hasarlı boru hatlarından küçük çaplarda borular geçirilmesi (debi kontrolleri yapılarak)
- **Boru içi enjeksiyon ve kaplama yöntemleri:** Su kayıp-kaçaklarının azaltılması, altyapı yenileme maliyetlerinin düşürülmesi ve kuraklık koşullarında arz güvenliğinin güçlendirilmesi açısından önemli teknik araçlardır. Bu yöntemler aşağıda verildiği gibidir.²
 - Epoksi / Poliüretan Enjeksiyonu
 - Kimyasal Jel Enjeksiyonu
 - CIPP (Yerinde Kürlenmiş Boru Kaplama)
 - Spray-On (Püskürtme) İç Kaplama
 - Robotik Noktasal Onarım Sistemleri
- **Basınç Yönetimi:** Bölgesel basınç düşürme vanaları ile boru hattında gereksiz yüksek basınçlar engellenmelidir.
- **Sızıntı Tespiti ve Onarım Programları:** Akustik cihazlar ve akıllı sensörlerle boru hatlarındaki sızıntıların düzenli takip edilmesi ile erken tespit sağlanması
- **Tarımsal bölgelerde kayıp kaçaklarla mücadele:** Genelde şehir şebeke sistemlerinde yapılan bu mücadele, su tüketiminin en fazla olduğu tarımsal sulama alanında da yapılmalıdır.

2. Teknolojik İzleme ve Veri Tabanlı Yönetim

- **Akıllı Sayaçlar:** Akıllı sayaç uygulamasının yaygınlaştırılması ile sayaçlar gerçek zamanlı veri göndererek kaçak ve usulsüz kullanımın tespiti kolaylaştırılabilecektir.
- **SCADA ve IoT Tabanlı (Kablosuz ortam ile) İzleme Sistemleri:** SCADA sistemleri ile boru hatlarının basıncı, debisi ve sızıntısı anlık izlenebilir. Bu sayede kaçak ve fiziksel kayıplar hızlı şekilde tespit edilerek müdahale edilebilir.

3. Kurumsal ve Operasyonel Önlemler

- **Farkındalık Eğitimleri:** Temiz-içilebilir suyu elde etmek ucuz değildir. Şu an kolay ulaşılabilen suya birkaç yıl içinde ulaşmak çok zorlaşabilecektir. Su kesintilerinin artabileceği ve bu kadar problemin sadece bilinçli su kullanarak bile büyük bir bölümünün çözülebilecektir. Halk bilgilendirme kampanyaları ve teknik personel eğitim programları vasıtası ile yoğun olarak su kaynaklarının değerinin anlaşılması ve etkin kullanımı sağlanabilir.
- **Düzenli İzleme ve Denetim:** Düzenli veri toplama, raporlama ve kaçak tespit ekiplerinin periyodik ve düzenli çalışması, gelir getirmeyen su miktarlarını düşürmede yardımcı olacaktır.

4. Bireysel Önlemler

- **Perlatörler:** Musluk ucuna takılan küçük aparatlar, suyun içine hava karıştırarak akışı yumuşatır ve hacmini azaltmadan su tasarrufu sağlayabilir. Su akışını birim sürede %30–50 aralığında azalabilir. Bu tüm dünyada standartlaştırılmış bir uygulamadır.

² Bu yöntemlerin uygulama, yöntem vb. detaylarının verildiği tabloya “Kuraklıkla Mücadele Politikası” kitabında yer verilecektir.

- **Düşük Akışlı Musluklar:** Geleneksel musluklara göre daha düşük debide su veren musluklardır. Standart musluklar 8-12 lt/dk su verirken, bu musluklar kullanıcı konforunu bozmadan 4-6 l/dk su verebilecektir. Böylece %50'ye varan tasarruf sağlanabilir.
- **Kademeli Musluk Kullanımı:** Dünyanın hemen her tarafında musluklar kişinin ihtiyacına göre su vermemekte, sabit ve yüksek debilerde su vermektedir. Standart musluklarda su debisini ayarlama imkânı yoktur. Bu şekilde kullanım büyük su israfına neden olmaktadır. Bunu engellemek için numaralı musluk tipleri kullanılabilir. 1,2,3,4,5 ölçekli farklı çaplarda çıkışlara sahip bu tip musluklar kullanım amacına ve ihtiyaca göre su verecektir. Buradaki ölçü "1 en az su miktarı-5 en fazla su miktarı" şeklinde olacaktır. Şu anda bütün musluklar 5 ölçüsünde su verdiği ve debi ayarlama imkânı olmadığı için su tasarrufu için yetersiz kalmaktadır.
- **Düşük Akışlı Duş Başlıkları:** Su tüketimini azaltmak için farklı nozül yapılarıyla tasarlanmış bu tür duş başlıkları genel su tüketimini %30–50 oranında azaltabilir.
- **Sensörlü Musluklar ve Otomatik Vanalar:** Hareket sensörleri ile su akışını sadece kullanım sırasında açılmasını sağlar, böylece boşa akan suyu önler, resmi kurum ve kuruluşlarda, ticarethanelerde ve okullarda yüksek oranda tasarruf sağlayabilir.

5. Su Tasarruflu Tuvalet ve Rezervuar Sistemleri

- **Düşük Debili Rezervuarlar:** Standart olan 9–12 litre sifon yerine, 4–6 litre/sifon kullanılabilir.
- **Çift Sifonlu Tuvaletler:** Standart kullanıma göre, ihtiyaca göre daha az su kullanmaya imkân sağlanabilir.
- **Entegre Lavabolu Klozet Sistemi:** Japonya'da yaygın olarak kullanılan entegre lavabolu klozet sistemi, sifon çekildiğinde temiz şebeke suyunun önce klozet üzerindeki lavaboya yönlendirilmesi ve el yıkama sonrası oluşan gri suyun klozet rezervuarında biriktirilerek bir sonraki sifonda kullanılması esasına dayanmaktadır. Bu sistem, ek enerji veya karmaşık altyapı gerektirmeden konut ölçeğinde gri suyun yeniden kullanımını mümkün kılmakta ve hane başına %20–30 oranında su tasarrufu sağlamaktadır. Basit yapısı, hijyenik oluşu ve düşük maliyeti sayesinde özellikle su stresi yaşayan bölgelerde sürdürülebilir su yönetimi uygulamaları açısından örnek bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Gri suyun basit ve hijyenik biçimde geri kazanılmasını sağlayan bu sistem, el yıkama ve sifon doldurma işlemlerini eş zamanlı gerçekleştirerek ek pompa veya elektrik gerektirmeden su tasarrufu sunulabilir.

6. Su Tasarrufu Programları ve Etiketleme: Kişilerin satın aldıkları ürünlerde su tasarrufu ile ilgili sertifikalandırmalar (Enerji kullanımı sınıflandırması örneğindeki A++, A+, A vb. gibi) yapılarak, kullanıcının su tasarrufu yapılan, suyu bilinçli kullanılarak üretilen ürün ve firmaları tercih etmesi sağlanabilir. Bu bilinç sağlandığında, firmalarında bu yönde kendilerini geliştirmeleri teşvik edilebilir. Bilinçli su tüketimi tercih nedeni olabilir. "Bu çanta üretilirken, X Litre su kullanılmıştır. Elinizdeki yiyeceğin imalatında Y Litre su kullanılmıştır." Şeklinde bilgilendirmeler bulunabilir.

2. KURAKLIKLILA MÜCADELEDE SU KULLANIM HARİTALARI VE ÖNEMİ

2.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

1. Ulusal Su Kullanım Harita Portalı

Tüm şehirlerde standart veri formatında su tüketim haritaları oluşturulmalı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından merkezi platformda yayınlanmalıdır.

2. Su Verimliliği Rotası (SVR)

Su Verimliliği Rotası (SVR), kentsel ve kırsal su yönetiminde tüketim yoğunluğu, altyapı eskimesi, gelir düzeyi, sektörel kullanım ve kaçak-kayıp risklerinin mekânsal olarak analiz edilerek su tasarrufu ve müdahale önceliklerinin belirlenmesini sağlayan karar destek modeli olarak özetlenebilir.

Temel Hedefler:

- Su tüketiminin mekânsal olarak anlamak; mahalle, tesis, tarımsal alan veya OSB ölçeğinde “yüksek su kullanım bölgelerinin” belirlenmesi
- Gerekli müdahaleleri optimize etmek; kayıp-kaçak ekipleri, sulama denetim ekipleri veya saha teknik ekipleri için en kritik noktaların algoritmik olarak sıralanması
- Tasarruf potansiyelini arttırmak; SVR takip edilerek, müdahale yapıldığında en fazla su tasarrufunun sağlanacağı bölgelerin tespit edilmesi
- Belediye yatırımları öncelik sırasının belirlenmesi; şebeke yenileme, sayaç modernizasyonu ve tarımsal sulama dönüşümü gibi yatırımlara bilimsel öncelik sırasının verilere göre belirlenmesi

Özetle, SVR, su yönetim sistemini reaktif yapıdan çıkarıp öngörücü ve veri odaklı bir modele dönüştürerek tasarruf politikalarının etkinliğini artıran, şebeke kayıplarını hızla azaltan, sulama yönetimini doğrulukla yönlendiren ve kaynak ile bütçenin en verimli şekilde kullanılmasını sağlayan kuraklıkla mücadelede etkili olabilecek bir yaklaşımdır.

3. Tarımda Hassas Sulama Haritaları

- Uydu verileri ile su stresine göre sulama takvimi oluşturulması
- Çiftçilere mobil uygulama ile bildirimler yapılması

4. Kaçak-Kayıp Bölgesel Müdahale Planı

Tüm belediyelerde şebeke yaşı ve tüketim problemlerini belirten haritalarının oluşturulması ve sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.

Dünyanın çoğu yerinde, mevcut su kaynaklarını ve kullanımını tam olarak değerlendirebilmek için yeterli gözlem verisinin bulunmaması büyük bir sorundur. Olumlu yönden bakılırsa, yağış, gerçek buharlaşma ve depolama değişimleri gibi su döngüsünün çeşitli bileşenleri hakkında bilgi sağlayan uzaktan algılama tabanlı ürünlerin sayısı giderek artmakta ve daha fazla kullanıma girmektedir.

3. GRİ SUYUN ARITILARAK KULLANIMI

3.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

1. Gri Su Standardizasyonu ve "Beyaz Sertifika" Sisteminin Geliştirilmesi

Türkiye'de acilen, bina ve yerleşke ölçeğindeki gri su sistemleri için ayrıntılı teknik şartnameler, tasarım kılavuzları ve kalite standartları hazırlanmalıdır. Bu şartnamelerde, sistemin büyüklüğünün su ihtiyacı ve gri su miktarına göre her bir proje için özel olarak hesaplanması, şebeke ile kullanım suyu hatlarının kesinlikle ayrı tutulması ve boru hatlarının renk kodlaması gibi temel dizayn prensipleri net bir şekilde belirtilmelidir. Daha ileri bir adım olarak, su tasarrufu sağlayan binalara verilebilecek bir "Beyaz Sertifika" veya "Su Verimliliği Sertifikası" sistemi geliştirilmelidir. Bu sertifika, binanın gri su kullanım oranı, toplam su ayak izi azaltımı gibi kriterlere göre derecelendirilerek, yapı ruhsatı ve iskân aşamalarında teşvik edici bir araç olarak kullanılabilir.

2. Dijital İzleme ve Bakım Kolaylığı Sağlayan Sistem Tasarımı Sağlanmalı

Gri su sistemlerinin sürdürülebilirliği, düzenli bakım ve izlemeye bağlıdır. Pompalar, filtreler ve diğer mekanik ekipmanların bakım ve temizlik için kolayca ulaşılabilir olacak şekilde tasarlanması zorunlu hale getirilmelidir. Ayrıca, bu sistemlerin gerçek zamanlı izlenmesi için basit ve uygun maliyetli dijital izleme çözümleri (debi, basınç, bulanıklık sensörleri gibi) teşvik edilmelidir. Bu sayede filtre değişimi, pompa arızası gibi durumlar önceden tespit edilerek sistem verimliliği ve güvenilirliği artırılabilir.

3. Mevcut ve Yeni Yapı Stokları İçin "Gri Su Toplama/Dağıtım Merkezleri" Modeli Oluşturulmalı

Mevcut müstakil konutlar, eski siteler ve yeni inşa edilecek binalarda, mahalle veya site ölçeğinde " **Gri Su Toplama/Dağıtım Merkezleri** " kurulması teşvik edilmelidir. Bu yapı ile, az kirli gri suyu (duş, lavabo, küvet) ortak bir arıtma ünitesinde işleyerek bahçe sulama, araç yıkama ve genel temizlik gibi amaçlarla kullanılabilir. Yerel yönetimlerin teknik desteği ve düşük faizli kredi imkanlarıyla finanse edilebilecek bu model, bakım maliyetini paylaşarak ve sosyal dayanışmayı güçlendirerek kolektif fayda sağlayacaktır.

Ayrıca yatay mimariye geçiş, gri su ve yağmur suyu geri kazanım sistemlerinin bina ölçeğinde etkin ve ekonomik biçimde uygulanabilmesi açısından stratejik bir planlama aracı olarak değerlendirilmelidir. Düşük katlı ve az yoğunluklu yapılaşma, çatılardan ve iç mekânlardan kaynaklanan gri suyun ayrı hatlar üzerinden toplanması, yerinde arıtılması ve peyzaj sulaması, rezervuar beslemesi veya temizlik amaçlı yeniden kullanımı için daha esnek altyapı çözümleri sunmaktadır. Bu kapsamda, imar planlarında yeni yatay yerleşim alanlarında çift tesisat zorunluluğu, parsel ölçeğinde modüler gri su arıtma üniteleri için teşvik mekanizmaları ve ruhsat aşamasında su geri kazanım projelerinin teknik uygunluk denetimi gibi düzenleyici araçlar devreye alınmalıdır. Böylece hem merkezi su şebekesi üzerindeki talep baskısı azaltılacak hem de iklim değişikliğine uyum kapsamında kentsel su döngüsünün kapalı çevrim yaklaşımıyla yönetilmesi desteklenebilecektir.

4. Teknoloji Seçim Rehberi ve Yerli Üretim Desteği Sağlanmalı

Gri su arıtımında kullanılan teknolojilerin ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları olduğu bilinmektedir. Uygulayıcılar için arazi büyüklüğü, iklim koşulları, arzu edilen çıkış suyu kalitesi ve bakım kapasitesi gibi kriterlere göre teknoloji seçimine yardımcı olacak bir "**Karar Destek Rehberi**" geliştirilmelidir. Özellikle yapay sulak alan gibi düşük enerjili ve çevre dostu pasif sistemlerin kullanımı özendirilirken, MBR gibi teknolojilerde kullanılan membranların yerli üretimi ve temizliğinde çevreye zararlı kimyasalların alternatifleri için AR-GE teşvikleri sağlanmalıdır.

5. Entegre Su Yönetimi: Gri Su ve Yağmur Suyu Sistemlerinin Birlikte Değerlendirilmesi

Gri su geri kazanımı ile yağmur suyu hasadı sistemlerinin entegre bir şekilde ele alınması, şehir şebekesindeki yükü çok daha etkili bir şekilde azaltacaktır. Özellikle siteler ve büyük yerleşkelerde, bu iki sistemin birlikte tasarlandığı ve havuz doldurma gibi amaçlar için optimize edildiği projeler, yatırım maliyetleri de göz önüne alınarak teşvik edilmelidir. Bu entegre yaklaşım, içme suyunun gereksiz kullanımını engelleyerek çevreye önemli bir pozitif katkı sağlayacaktır.

4. YAĞMUR SUYU HASATI

4.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

1. Su Kıtlığının Giderilmesi

- Ulusal Su Yönetimi Stratejisi içine yağmur suyu hasadı zorunlu bir bileşen olarak eklenmelidir.
- Su kıtlığı yaşayan İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da YSH³ zorunlu altyapı yatırımı kapsamına alınmalıdır.
- Belediyeler su planlarında “YSH kapasite hedefleri” belirlemelidir (örn. “2025–2030 arası kentsel tüketimin %10’u YSH ile karşılanacaktır.”).

2. Sürdürülebilir Su Yönetiminin Teşvik Edilmesi

- Yerel yönetimler Su Hassas Kentsel Tasarım (SHKT) ilkelerini planlama sistemine dâhil edilmelidir.
- İmar planlarına zorunlu YSH altyapıları eklenmelidir:
 - Geçirgen yüzeyler
 - Yağmur bahçeleri
 - İnfiltrasyon çukurları
 - Biyosavaklar
 - Yağmursuyu toplama bölgeleri veya çukurları (su tutma veya taşkın geciktirme amaçlı)

3. İklim Değişikliğine Uyumun Geliştirilmesi

- Tüm yeni kentsel projelerde iklim uyum eylem planı kapsamında yağmur suyu depolama sistemi zorunlu tutulmalıdır.
- Yerel yönetimlerde “YSH Koordinasyon Birimi” kurulmalı; bu birim teknik danışmanlık, denetim ve kayıt sistemi yürütmelidir.
- Meteorolojik kuraklık dönemlerinde merkezi yönetim tarafından YSH teşvik paketi açıklanmalıdır.

4. Verimli Su Kullanımını Teşvik Edilmesi

- Şehirlerdeki su kullanımının yoğun olduğu alanlarda (okullar, kamu kurumları, hastaneler, sanayi) zorunlu yağmur suyu toplama ve yeniden kullanım sistemleri uygulanmalıdır.
- Apartman ve sitelerde yağmur suyu:
 - Tuvalet rezervuarları
 - Bahçe sulama
 - Ortak alan temizliği için zorunlu hale getirilmelidir (dual-pipe sistemi ile).
- Büyükşehirlerde “Yağmur Suyu Depolama Hacmi Standartları” belirlenmelidir.

5. Ekonomik Sürdürülebilirliğin Desteklenmesi

- YSH sistemi kuran konutlara KDV indirimi, su faturasında %10–20 indirim ve emlak vergisi indirimi sağlanmalıdır.
- Düşük gelirli haneler için hibe + düşük faizli kredi paketleri uygulanmalıdır.

³ Yağmur Suyu Hasatı (YSH)

- Tarım işletmeleri için RWH yatırımları kırsal kalkınma destekleri kapsamına alınmalıdır.

6. Halk Sağlığı ve Güvenliğini İyileştirilmesi

- Şebeke suyu altyapısının zayıf olduğu kırsal alanlarda çatı yağmur suyu sistemleri + arıtma modülleri ile güvenli içme suyu desteği sağlanmalıdır.
- Sağlık Bakanlığı tarafından “Yağmur Suyu Güvenliği Rehberi” yayımlanmalıdır.

7. Topluluk Dayanıklılığını ve Katılımının Arttırılması

- Belediyeler tarafından YSH eğitimleri, gösterim alanları ve mahalle pilot projeleri oluşturulmalıdır.
- Çiftçi eğitim programlarında mikro havza uygulamaları zorunlu modül hâline getirilmelidir.
- Okullarda su döngüsü ve YSH konularını içeren müfredat geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, Ulusal ve yerel düzeyde güçlü yağmur suyu hasadı politikalarının uygulanması, Türkiye'nin artan kuraklık riskine karşı dayanıklılığını güçlendirecek, su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltacak, tarımsal üretim ve halk sağlığını destekleyecek, ekonomik sürdürülebilirliği geliştirecek ve iklim değişikliğine uyum kapasitesini önemli ölçüde arttıracaktır.

Bu nedenle, Türkiye için en kritik politikalar:

- **Yeni binalarda minimum YSH depo hacmi zorunluluğu**
- **Kentsel alanlarda YSH + LID (Low Impact Development) entegre altyapı yaklaşımı**

(LID; şehirleri yağmur suyunu sorun olarak değil, kaynak olarak gören bir tasarım felsefesi)

- **Ekonomik teşvik paketleri ile vatandaş katılımının artırılması**
- **Tarımsal mikro-havza sistemleri ile kırsal su yönetiminin güçlendirilmesi**
- **Kurumsal kapasite + toplum farkındalığının artırılması**

5. YERALTI SUYUNUN BİLİNÇSİZ KULLANIMININ KURAKLIĞA ETKİSİ, AŞIRI KULLANIMIN ZARARLARI VE KORUNMASI İÇİN POLİTİKA ÖNERİLERİ

5.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yeraltı suyu rezervinin sürdürülebilirliğini belirleyen iki temel unsur, suyun miktarı (varlığı) ve kalitesidir. Suyun varlığı ve kullanılabilirliğini etkileyen su seviyesi değişimleri, beslenme-boşalım oranları, havzalar arası su transferleri ve bölgesel hidrolojik koşullar; nehir havzasının hidrolojik dengesinin ve yeraltı suyu miktarının zaman içinde değişmesine neden olmaktadır.

Bu nedenle su dengesi, yeraltı suyu sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde en temel araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Su bütçesinin analizi, akiferin kendini yenileme kapasitesinin belirlenmesi, çekim-beslenme dengesinin izlenmesi ve sürdürülebilir işletme stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

1.Havza Bazlı Yeraltısu Yönetimi

Son yıllarda yapılan çalışmalar, sürdürülebilir yeraltı suyu yönetiminin ancak havza ölçeğinde ve hidrojeolojik sınırlar dikkate alınarak planlanması gerektiğini göstermektedir. Bu yaklaşım kapsamında, akifer sınırlarının bilimsel olarak belirlenmesi, yeraltı suyu bütçesinin (beslenme-çekim dengesi) ortaya konulması ve yeraltı suyu koruma alanlarının tanımlanması sürdürülebilir yeraltı suyu yönetiminin temel unsurları arasında yer almaktadır. Havza ölçekli planlama, akiferlerin doğal yenilenme kapasiteleri ile kullanım taleplerinin uyumlaştırılmasını ve uzun dönemli su güvenliğinin sağlanmasını mümkün kılmaktadır.

2. Çekim Kotaları ve Ruhsatlandırma

Havza bazlı su yönetimi, tüm kuyuların CBS tabanlı olarak kayıt altına alınmasını gerektirir. Kaçak kuyuların kapatılması ve çekim kotasının belirlenmesi sürdürülebilir yeraltı suyu yönetiminin temel adımlarıdır DSİ (2023). Birçok ülke, özellikle yoğun tarımsal çekim görülen bölgelerde, kota uygulaması ile önemli başarılar elde etmiştir. Zorunlu lisans sistemi, çekim limitlerinin belirlenmesi, tarımda zorunlu verimlilik artışı etkin yönetim araçları arasında yer almaktadır

3. Otomatik İzleme Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Sayaç Zorunluluğu

Kuyularda sayaç zorunluluğu yeraltı suyu yönetiminde en temel denetim mekanizmasıdır. Su kullanımı ölçülmeden hiçbir ülkede sürdürülebilir bir yeraltı suyu yönetimi sağlanamamaktadır. Uzaktan algılama ve otomatik izleme teknolojilerinin birlikte kullanılmasıyla çekim–beslenme dengesinin gerçek zamanlı yönetilebildiğini; su seviyesindeki kritik düşüşlerin anında tespit edilebildiğini ve deniz suyu girişiminin erken uyarı sistemleri ile önlenildiğini göstermektedir.

Sayaç zorunluluğunun sağladığı temel kazanımlar arasında, çiftçi–sanayi–belediye abonelerinin beyan ettiği çekim miktarlarının gerçek değerlerle karşılaştırılabilmesi, kullanım davranışlarının analiz edilebilmesi ve aşırı çekimin hızlı şekilde tespit edilip sınırlandırılabilmesi bulunmaktadır. Bu durum su bütçesinin doğru çıkarılmasını ve sürdürülebilir çekim kapasitesinin izlenmesini mümkün kılar. MODFLOW gibi havza bazlı yeraltı suyu modellemeleri için ölçülmüş güvenilir debi verilerinin elde edilmesi de sayaç uygulamalarının en kritik teknik faydalarından biridir. OECD çalışmaları, sayaç zorunluluğunun kaçak su kullanımını %30–60 oranında azalttığını ortaya koymaktadır (OECD, 2010). Ayrıca doğru ölçüm, su fiyatlandırmasının adil yapılmasını sağlar; ekonomik araçların su tasarrufunu teşvik etmesini mümkün kılar.

4. Tarımsal Sulamada Verimlilik ve Ürün Deseni Planlaması

Tarımsal sulama, birçok ülkede toplam yeraltı suyu kullanımının %65–90'ını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, yeraltı suyu üzerindeki baskının azaltılması amacıyla damla sulama ve düşük basınçlı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması, tuzluluğa dayanıklı veya daha düşük su tüketimine sahip alternatif ürün desenlerinin teşvik edilmesi ve çiftçilere yönelik teknik kapasite geliştirme programlarının uygulanması öncelikli politika araçları olarak değerlendirilmelidir.

Vahşi (kontROLSÜZ) sulama uygulamalarının önlenmesi için; bitki su tüketimi esas alınarak parsel bazlı sulama planlarının hazırlanması ve uygulanmasının zorunlu hale getirilmesi, yeraltı suyu kullanan tarımsal alanlarda sayaçlı ve kayıtlı su çekim sistemlerine geçilmesi, açık kanal sulama altyapısının aşamalı olarak kapalı borulu sistemlere dönüştürülmesi ve su tahsis miktarlarını aşan kullanımlar için kademeli su fiyatlandırması ve idari yaptırımların uygulanması önerilmektedir.

Bu önlemlerin, sulama birlikleri ve ilgili kamu kurumları tarafından uzaktan izleme, veri tabanlı raporlama ve periyodik denetim mekanizmaları ile desteklenmesi, su kullanım verimliliğinin artırılması ve yeraltı suyu çekimlerinin sürdürülebilir seviyelere indirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

5. Geri Kazanılmış Suyun Kullanımı ve Entegre Su Yönetimi

Ulusal su güvenliğinin güçlendirilmesi ve yeraltı suyu üzerindeki çekim baskısının azaltılması amacıyla, arıtılmış atık suyun tarımsal sulama, endüstriyel kullanım ve kontrollü yeraltı suyu beslemesi kapsamında yeniden kullanımının yaygınlaştırılması temel politika hedeflerinden biri olarak belirlenmelidir. Bu kapsamda, geri kazanılmış suyun kullanım alanlarına göre ulusal kalite standartlarının ve teknik uygulama rehberlerinin oluşturulması, ileri arıtma teknolojilerine sahip tesislerin su stresi yüksek havzalarda önceliklendirilmesi ve geri kazanılmış suyun resmi su tahsis sistemine entegre edilmesi gerekmektedir.

Bütünleşmiş su yönetimi yaklaşımı çerçevesinde; yüzey suyu, yeraltı suyu ve geri kazanılmış su kaynaklarının birlikte planlandığı havza bazlı su bütçelerinin hazırlanması, geri kazanılmış su kullanımının yeraltı suyu seviye ve kalite izleme sistemleriyle desteklenmesi ve düzenli raporlama mekanizmalarının kurulması önerilmektedir. Ayrıca, geri kazanılmış su kullanan tarımsal ve endüstriyel kullanıcılar için ekonomik teşvikler sağlanması ve konvansiyonel su kaynaklarına aşırı bağımlılığı azaltmaya yönelik kademeli düzenlemelerin uygulanması, politikanın etkinliğini artıracaktır.

6. Hukuki ve Kurumsal Reformlar

Sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi için suyun kamu malı olarak kabul edilmesi, lisans-izin sisteminin güçlendirilmesi, havza bazlı yönetim ilkesinin benimsenmesi, ekonomik araçların mevzuata entegre edilmesi, denetim-yaptırım kapasitesinin artırılması, veri yönetim altyapısının geliştirilmesi ve çok paydaşlı havza kurulları aracılığıyla karar alma süreçlerinin desteklenmesi gerekmektedir.

7. Yeraltı Barajları ve Yapay Beslenme Uygulamaları

Yeraltı barajları, suyun yüzeyde buharlaşarak kaybolmasını önleyip akifer içinde depolanmasını sağlayarak yeraltı suyu rezervlerini güçlendirir. Yağışlı dönemlerde akifer beslenimini artırarak su tablasını yükseltir ve aşırı çekimin olumsuz etkilerini azaltır. Kıyı bölgelerinde tatlı su basıncını artırarak deniz suyu girişimini yavaşlatır. Yeraltı suyu yapay besleme (MAR⁴) uygulamaları; yüzey sularının havza, baraj, hendek, kanal, oluk ve kuyu gibi mühendislik yapılarıyla toplanması ve kontrollü infiltrasyon yoluyla akifere iletilmesi temeline dayanır. Yönetilir Akifer Beslemesi (MAR), su tablasını dengeleme, tuzlanma riskini azaltma, taşkın kontrolüne katkı sağlama, su kalitesini iyileştirme ve kurak dönemlerde tampon su kaynağı oluşturma gibi çok sayıda fayda sunmaktadır. Aşırı çekim nedeniyle düşen su seviyeleri, MAR uygulamaları ile yeniden dengelenebilir. Kıyı akiferlerinde tatlı su enjeksiyonu veya sızıntı havuzları ile tuzlu su girişi kontrol altına alınabilmektedir. (ASR⁵) sistemleri ise artırılmış suyun yeraltına enjekte edilip ihtiyaç anında geri çekilmesi prensibine dayanır. Bu yöntem "yeraltında doğal bir depolama tankı" işlevi görmektedir.

6. KURAKLIKLA MÜCADELEDE (XERISCAPE) KURAKÇIL PEYZAJ UYGULAMALARI

6.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

1. Tasarım ve Uygulama

- **Bölgesel/yerel bitki rehberleri oluşturulması:** Her iklim bölgesi için yerli, kuraklığa dayanıklı bitki türleri veri tabanları hazırlanmalı; kamu ve peyzaj sektörüne açık olmalı. (Önerilen kuruluş: Tarım ve Orman Bakanlığı + yerel belediyeler). (FAO, yerel NBS rehberleri).
- **Toprak iyileştirme ve malç kullanımı:** Toprak organik maddesinin artırılması ve geniş malç kaplamaları su tutma kapasitesini yükseltir; sulama sıklığını azaltır.

2. Politika, Teşvik ve Düzenlemeler

- **Teşvik programları:** Xeriscape geçişini desteklemek, teşvik etmek için yerel yönetimlere çim sökümü desteği, ücretsiz/indirimli yerel bitki dağıtımı veya su faturası indirimleri sağlanabilir.
- **Regülasyon ve standartlar:** Yeni imar uygulamalarında peyzaj su verimliliği kriterleri zorunlu hale getirilmeli; kamusal peyzajlarda su-etkin tasarım şartı getirilmelidir.

⁴ Managed Aquifer Recharge (MAR)

⁵ Aquifer Storage and Recovery (ASR)

3. Eğitim ve Toplum Katılımı

- **Halk eğitimi ve gösterim bahçeleri:** Vatandaşlar için uygulamalı eğitimler ve örnek xeriscape bahçeleri kurulmalı; başarı hikâyeleri görünür yapılmalıdır. (Kamu bilgilendirmesi davranış değişikliğinde etkilidir).

4. Çözümler İçin Yol Haritası

- Belediye düzeyinde pilot projeler (okul/üniversite kampüsleri, parklar).
- Yerel bitki rehberi ve uygulama kılavuzu hazırlanması.
- Teşvik ve mali destek programlarının oluşturulması
- Diğer kuraklıkla mücadele yöntemleri ile entegrasyonun sağlanarak gerekli teknik standartların oluşturulması.

Aşağıda kurakçıl peyzaj amaçlı kullanılabilir bitki türleri verilmiştir. (Kaynak: Kurakçıl Peyzaj Uygulamaları Raporu, TC. Tarım Orman Bakanlığı,2024)



Şekil 6.1. Kurakçıl peyzaj amaçlı kullanılabilir bitki türleri

7. SANAYİDE ZLD (SIFIR SIVI DEŞARJI) UYGULAMALARI

7.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

- **Sektörel önceliklendirme:** Tuzlu ve ağır yük içeren atıksu üreten sektörlerde (örn. tekstil, deri, kimya, enerji/petrokimya) ZLD uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi.
- **Pilot veya hibrit uygulamalar:** Revers Ozmoz (RO) + evaporasyon/kristalizasyon hibrit sistemleri ile küçük–orta ölçekli tesislerde pilot uygulamalar yapılması; bu sayede hem teknik hem ekonomik fizibilite test edilebilir.
- **Teşvik veya finansman mekanizmaları:** Yüksek sermaye harcamaları gerektiren ZLD yatırımlarında devlet/OSB teşvikleri, uzun vadeli kredi veya hibeler ile finansman desteği sağlanabilir.
- **Mevzuat ve rehber geliştirme:** Ulusal veya bölgesel düzeyde “ZLD rehberi” hazırlanabilir; atıksu izinleri, deşarj limitleri ve kontrol mekanizmaları ZLD’ye yönlendirilebilir.
- **Yan ürün değerlendirme – döngüsel ekonomi:** ZLD sonucu oluşan katı tuz/kimyasal atığın değerlendirilmesi (tuz üretimi, kimyasal geri kazanımı vb.) ile atık maliyeti düşürülüp ek gelir sağlanabilir.

8.YÜZEYSEL SULARDA BUHARLAŞMANIN ÖNLENMESİ

8.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

İklim değişikliği, sıcaklık, rüzgâr ve yağışlardaki değişiklikler yoluyla karadan ve su rezervuarlarından buharlaşma miktarını etkilemektedir. Yüzeysel sulardan buharlaşmanın daha kontrollü olması, su kaynakları yönetimi, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması, sürdürülebilir kalkınma, enerji üretimi (hidroelektrik üretimi), ekolojik sonuçların anlaşılması, politika oluşturma, planlama ve uluslararası iş birliği için çok önemlidir.

Bu sebeple aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Buharlaşmayı artırabilecek etkilerden uzak olan alanların tercihi daha fazla özen gösterilmeli
- Projelerin bitiminde rüzgâr azaltıcı ve çevre bölgedeki bitki ve ağaçlandırma çalışmaları gibi koruyucu tedbirler daha titizlikle yürütülmelidir.
- Özellikle baraj gibi su depolama yapılarında rezervuar yüzey alanının mümkün olduğunca düşük ve rezervuar derinliğinin fazla olmasına özen gösterilmelidir.
- Sulama kanallarının mümkün olduğu kadar güneş ışığına maruz kalmadan tünel veya kapalı borularla iletimi gibi yöntemlerle projelendirilmesi de buharlaşma miktarını azaltacaktır.
- Özellikle buharlaşma miktarı fazla olan bölgelerde yeraltı barajları gibi alternatif depolama yöntemleri tercih edilmelidir.
- Daha önce inşa edilmiş rezervuarlarda yüksek buharlaşma olanlarda, rezervuar su yüzeyinde ısınan üst kısmın, daha alt tabakadaki soğuk su ile yer değişimine imkan sağlayan yöntemler araştırılarak buharlaşma azaltılabilir.
- Farklı iklim senaryoları altında baraj rezervuarlarının su bütçesi hesaplamalarına buharlaşma kayıplarını tahmin etme ve dahil etme konusunda nicel yeteneklerin güçlendirilmesi, etkili uyum ve azaltma stratejilerinin geliştirilmesini sağlayarak insanları ve işletmeleri korur. Bu amaçla uydu görüntülerinden buharlaşma tespiti çalışmalarının da önemi büyüktür.

- Özellikle su yüzeyine ışık ve oksijen geçişine izin veren yüzer elemanlar, hem balıklar için uygun büyüme koşulları sağlayacak hem de değerli sulama suyu kayıplarını azaltacağı düşünülmektedir. Opak yüzer elemanlarla buharlaşma azaltma metodlarının farklı türdeki malzemelerle ele alınması ve etkileşimde bulunacağı sulardaki kalite değişimleri ile kara (balıklarla beslenen) ve su canlılarına etkileri değerlendirilmelidir.

9. KURAKLIKLA MÜCADELEDE KURAKLIK İNDEKSLERİ KULLANIMI

9. 1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Kuraklık indekslerinden elde edilen veriler, kuraklıkla mücadele stratejilerinin bilimsel temelli olmasını sağlar. Aşağıdaki çözüm önerileri bu indekslerin etkin kullanımını amaçlar.

- **Erken Uyarı Sistemlerinin Geliştirilmesi**
Meteorolojik ve tarımsal indeksler kullanılarak ulusal erken uyarı sistemleri kurulmalıdır. Bu sistemler, belirlenen eşik değerler aşıldığında yetkilileri ve tarım sektörünü önceden bilgilendirerek hazırlıklı olmalarını sağlayabilir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve SU Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) verilerinin entegre edilerek kuraklık erken uyarı haritalarının düzenli yayınlanması sağlanabilir.
- **Kuraklık Risk Haritalama ve Planlama**
Farklı indekslerle elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile haritalanarak bölgeler arası kuraklık risk farkları ortaya konmalıdır. Bu haritalar, özellikle sulama planlaması ve su tahsis politikalarında kullanılabilir.
- **Tarımsal Su Yönetimi ve Politikalar**
Kuraklık indeksleri tarım sektörü için kritik planlama araçlarıdır. Su ihtiyacı yüksek ürünlerin yerine su tasarrufu sağlayan ürünlere yönelmek için indeks verileri kullanılabilir. Ayrıca sulama tekniklerinin etkinliği indeks verilerine göre optimize edilebilir.
- **İklim Değişikliği ve Uzun Vadeli Stratejiler**
İndeksler, iklim modelleriyle birleştirilerek gelecekteki kuraklık eğilimleri tahmin edilmelidir. Böylece hem kısa vadeli müdahaleler hem de uzun vadeli uyum politikaları geliştirilebilir.

Kuraklık indeksleri, kuraklığın belirlenmesi, izlenmesi ve yönetilmesi için güçlü araçlardır. Türkiye’de hem meteorolojik hem de hidrolojik indeksler aktif olarak kullanılarak kuraklık analizleri yapılmakta ve farklı bölgelerde kuraklık riskini tanımlamaktadır. *Bu indeksler, erken uyarı sistemlerinin kurulması, su yönetimi planlaması ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesi gibi alanlarda bilimsel bir temel sunarak kuraklıkla mücadelede kritik rol oynar.*

10. KOMPOST KULLANIMI VE SU TUTMA KAPASİTESİ

10. 1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

- **Ulusal Kuraklıkla Mücadele Politikalarına Kompostlamanın Entegrasyonu**
Kompostlama uygulamaları, Türkiye’nin *Kuraklık Yönetim Planları* ve *İklim Değişikliğine Uyum Stratejileri* içine açık bir politika aracı olarak dahil edilmelidir. Özellikle İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde kompost destekli toprak iyileştirme programları teşvik edilmelidir.
- **Organik Atıkların Kaynağında Ayrıştırılması ve Kompost Üretiminin Yaygınlaştırılması**
Belediyeler bünyesinde organik atıkların ayrı toplanmasına yönelik altyapı güçlendirilmeli, yerel ve bölgesel ölçekli kompost tesisleri yaygınlaştırılmalıdır. Bu yaklaşım hem atık bertaraf yükünü azaltacak hem de tarım sektörüne düşük maliyetli toprak düzenleyiciler sağlayacaktır.

- **Çiftçilere Yönelik Teşvik ve Destek Mekanizmalarının Oluşturulması**
Kompost kullanan çiftçilere; mazot, gübre ve sulama desteklerine ek olarak doğrudan teşvikler sağlanmalı, kompost uygulamaları *iyi tarım uygulamaları* ve *iklim dostu tarım* kapsamında desteklenmelidir. Ayrıca kompost kullanımına yönelik eğitim ve yayım faaliyetleri artırılmalıdır.
- **Kompost Kalite Standartlarının ve Sertifikasyon Sistemlerinin Güçlendirilmesi**
Tarımsal kullanım için üretilen kompostların kalite, ağır metal ve patojen içerikleri açısından düzenli olarak denetlenmesi sağlanmalı; ulusal kompost kalite standartları geliştirilerek güvenilir ürün arzı garanti altına alınmalıdır.
- **Araştırma–Geliştirme ve Bölgesel Uygulama Projelerinin Desteklenmesi**
Üniversiteler, araştırma kurumları ve yerel yönetimler arasında iş birliği güçlendirilerek, farklı toprak tipleri ve iklim koşullarında kompostun kuraklık azaltıcı etkilerini inceleyen uygulamalı projeler desteklenmelidir. Elde edilen veriler, bölgesel tarım politikalarının şekillendirilmesinde kullanılmalıdır.
- **Karbon Yönetimi ve İklim Finansmanı ile Entegrasyon**
Kompostlama uygulamaları, toprak organik karbonunu artırıcı etkisi nedeniyle karbon azaltma politikalarına entegre edilmelidir. Bu kapsamda, karbon piyasaları ve iklim finansmanı mekanizmaları aracılığıyla kompost uygulamaları ekonomik olarak daha cazip hale getirilebilir.

11. BULUT TOHURLAMA (CLOUD SEEDING)

11.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

- **Bulut Tohumlamanın Ulusal Kuraklık Yönetim Stratejilerine Destekleyici Araç Olarak Entegrasyonu**
Bulut tohumlama uygulamaları, Türkiye'nin ulusal kuraklıkla mücadele ve iklim değişikliğine uyum politikaları içerisinde *tamamlayıcı ve destekleyici* bir araç olarak konumlandırılmalıdır. Bu yöntemin kuraklığı ortadan kaldıran bir çözüm olmadığı, yalnızca uygun meteorolojik koşullar altında mevcut yağış potansiyelini artırabileceği politika belgelerinde açıkça vurgulanmalıdır.
- **Meteorolojik Uygunluk ve Bilimsel Ön Değerlendirme Zorunluluğu**
Bulut tohumlama faaliyetleri, yalnızca yeterli nem içeriğine ve uygun mikrofiziksel özelliklere sahip bulutların bulunduğu durumlarda uygulanmalıdır. Bu kapsamda, her uygulama öncesinde yüksek çözünürlüklü meteorolojik gözlemler, radar verileri ve sayısal hava tahmin modelleri kullanılarak bilimsel uygunluk analizleri zorunlu hale getirilmelidir.
- **Pilot Bölge Uygulamaları ve Hidrolojik Etki İzleme Programları**
Türkiye'de bulut tohumlama uygulamaları, su stresi yüksek havzalarda (örneğin Konya Kapalı Havzası, Gediz ve Büyük Menderes havzaları) pilot projeler şeklinde yürütülmelidir. Bu projelerde, yağış artışının baraj doluluk oranları, yeraltı suyu beslenmesi ve tarımsal su temini üzerindeki kısa vadeli etkileri hidrolojik modellemelerle izlenmelidir.
- **Uzun Vadeli İklim Politikaları ile Karıştırılmasının Önlenmesi**
Bulut tohumlama, iklim değişikliği kaynaklı kuraklık döngülerinin uzun vadeli çözümü olarak sunulmamalıdır. Politika yapımcılar ve kamuoyu nezdinde yöntemin kapasitesi ve sınırları net bir şekilde tanımlanmalı; bu uygulamanın büyük ölçekli iklim desenleri (Akdeniz havzası iklimi, atmosferik sirkülasyon değişimleri vb.) üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu açıkça belirtilmelidir.
- **Şeffaflık, Etki Değerlendirmesi ve Kamuoyu Bilgilendirmesi**
Bulut tohumlama faaliyetlerinin çevresel, hidrolojik ve sosyo-ekonomik etkileri düzenli olarak değerlendirilerek kamuoyu ile paylaşılmalıdır. Özellikle kullanılan kimyasal maddeler

(ör. gümüş iyodür) ve bunların çevresel etkileri hakkında şeffaf veri sunulması, toplumsal kabul açısından önem taşımaktadır.

- **Araştırma–Geliştirme ve Kurumsal Kapasitenin Güçlendirilmesi**
Üniversiteler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve ilgili kamu kurumları arasında disiplinler arası iş birlikleri teşvik edilerek, bulut mikrofiziği, atmosfer dinamikleri ve yağış artırma teknolojileri üzerine ulusal Ar-Ge programları desteklenmelidir. Bu sayede uygulamaların bilimsel etkinliği ve güvenilirliği artırılabilir.
- **Entegre Su Yönetimi Yaklaşımı ile Birlikte Uygulanması**
Bulut tohumlama, tek başına bir çözüm olarak değil; su verimliliği, talep yönetimi, yağmur suyu hasadı, kompost ve toprak nemi artırıcı uygulamalar gibi yapısal ve doğa temelli çözümlerle birlikte değerlendirilmelidir. Bütünlümlü bir yaklaşım, kısa vadeli kazanımların uzun vadeli su güvenliğine katkı sağlamasını mümkün kılacaktır.

12. ERKEN UYARI SİSTEMLERİ VE KURAKLIK İLİŞKİSİ

12.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

- **Ulusal Entegre Kuraklık Erken Uyarı Sistemi'nin Güçlendirilmesi**
Türkiye'de kuraklık izleme ve erken uyarı faaliyetleri; Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığı ve üniversiteler arasında entegre bir yapı altında toplanmalıdır. Uydu tabanlı meteorolojik veriler (Sentinel, MODIS, SMAP), yer istasyonları ve hidrolojik gözlemler tek bir ulusal platformda birleştirilerek gerçek zamanlı kuraklık izleme sistemi oluşturulmalıdır.
- **Toprak Nemi ve Tarımsal Kuraklık Odaklı Erken Müdahale Mekanizmaları**
Toprak nemi haritaları, tarımsal kuraklığın erken evrede tespit edilmesi için karar alma süreçlerine doğrudan entegre edilmelidir. Toprak neminde kritik eşiklerin altına düşülmesi durumunda;
 - Sulama planlarının yeniden düzenlenmesi,
 - Kompost uygulamalarının teşvik edilmesi,
 - Kuraklığa dayanıklı ürün desenlerine geçiş gibi önlemler otomatik olarak devreye sokulmalıdır.
- **Kuraklık İndekslerinin Politika ve Yönetim Kararlarında Bağlayıcı Hale Getirilmesi**
SPI, SPEI ve PDSI gibi standart kuraklık indeksleri, yalnızca izleme aracı olarak değil, su tahsis kararları ve tarımsal destek mekanizmalarında *tetikleyici kriterler* olarak kullanılmalıdır. Belirli indeks eşik değerlerinin aşılması durumunda, kuraklık eylem planları ve acil su yönetimi protokolleri yürürlüğe girmelidir.
- **Mobil Bildirim Sistemlerinin Yaygınlaştırılması ve Yerel Düzeyde Kullanımı**
Uydu ve meteorolojik verilerle entegre çalışan mobil erken uyarı sistemleri, özellikle çiftçiler ve yerel su kullanıcıları için yaygınlaştırılmalıdır. Bu sistemler aracılığıyla;
 - Yaklaşan kuraklık riskleri,
 - Sulama zamanlaması önerileri,
 - Bulut tohumlama gibi kısa vadeli müdahalelerin uygulanabilirliği kullanıcılara anlaşılır ve zamanında iletilmelidir.
- **Erken Uyarı Sistemlerinin Doğa Temelli Çözümlerle Entegrasyonu**
Erken uyarı sistemlerinden elde edilen veriler, yalnızca kısa vadeli müdahaleler için değil; uzun vadeli toprak ve su yönetimi stratejilerinin yönlendirilmesinde kullanılmalıdır. Kuraklık riski yüksek bölgelerde;
 - Kompostlama ve organik madde artırıcı uygulamalar,
 - Toprak nemini koruyan tarım teknikleri erken uyarı verileriyle birlikte planlanmalıdır.

- **Bulut Tohumlama Uygulamalarının Erken Uyarı Verileriyle Koşullu Kullanımı**
Bulut tohumlama faaliyetleri, yalnızca erken uyarı sistemlerinin meteorolojik olarak uygun koşulları doğruladığı durumlarda uygulanmalıdır. Uydu gözlemleri ve atmosferik model çıktıları, bulut tohumlamanın etkinliğini önceden değerlendirmek için karar destek aracı olarak kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, kaynakların verimli kullanımını ve kamuoyunda beklenti yönetimini güçlendirecektir.
- **Kurumsal Kapasite, Eğitim ve Veri Şeffaflığının Artırılması**
Erken uyarı sistemlerinin etkinliği, yalnızca teknolojik altyapıya değil; kullanıcıların bu verileri anlama ve kullanma kapasitesine de bağlıdır. Bu nedenle:
 - Yerel yönetimler ve çiftçiler için eğitim programları düzenlenmeli,
 - Kuraklık verileri açık erişimli hâle getirilmeli,
 - Akademik–kamu iş birliği güçlendirilmelidir.
- **Uzun Vadeli İklim Uyum Politikalarıyla Uyumun Sağlanması**
Erken uyarı sistemleri, iklim değişikliğine uyum politikalarının ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Bu sistemler, kısa vadeli risk yönetiminin ötesinde, uzun vadeli su güvenliği, tarımsal sürdürülebilirlik ve ekosistem dayanıklılığı hedeflerine hizmet edecek şekilde yapılandırılmalıdır.

13. HAVZA BAZLI SU YÖNETİMİ İLE HİDROLOJİK KURAKLIKLA MÜCADELE

13.1. POLİTİKA VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

- Su yönetimine ilişkin tüm yatırım, plan ve arazi kullanım kararlarında idari sınırlar yerine havza sınırları esas alınmalıdır.
- Yukarı havzada alınan kararların aşağı havzalarda su arzı, taşkın ve kuraklık riski üzerindeki etkileri, plan onay süreçlerinde zorunlu etki değerlendirmesi kapsamına dâhil edilmelidir.
- Stratejik havzalarda periyodik olarak “havza su bütçesi” güncellemesi zorunlu olmalıdır. Yağış, akım, buharlaşma-terleme, toprak nemi, kar örtüsü, baraj/göl depoları ve yeraltı suyu stoklarındaki değişim tek çerçevede izlenmelidir.
- Kuraklık, yalnız meteorolojik göstergelerle değil; su bütçesinin açık verdiği koşullar üzerinden “kademeli risk düzeyi” olarak tanımlanmalıdır.
- Su bütçesi çıktıları; su tahsisi, rezervuar işletme kuralları, tarım desen planlaması ve kentsel büyüme kararlarına doğrudan bağlanmalıdır.
- Akım, yeraltı suyu, kar örtüsü ve iklim verilerini birlikte değerlendiren entegre izleme ve erken uyarı sistemleri yaygınlaştırılmalıdır.
- Veriler tek bir kurumsal panoda standart formatta toplanmalı; kurumlar arası veri paylaşımı ve erişim kuralları açıkça tanımlanmalıdır.
- Yeraltı suları, kurak dönemlerde sistemin sigortası olarak kabul edilmeli; çekim–beslenme dengesi havza su bütçesinin temel bileşeni olarak izlenmelidir.
- Kaçak kuyu açımı ve izinsiz kullanımın önlenmesi için denetim kapasitesi güçlendirilmeli; yaptırım mekanizması sadece kullanıcıyı değil, kuyu açan kişi ve firmaları da kapsayacak biçimde hukuki sorumluluk zinciri üzerinden düzenlenmelidir.
- Akifer baskısının yüksek olduğu havzalarda; çekim kotaları, kademeli kısıtlama rejimleri ve izleme temelli tahsis kuralları devreye alınmalıdır.

- Yeraltı suyu beslenimini desteklemek üzere; uygun alanlarda sızdırma sahaları, yapay besleme tesisleri ve yeraltı barajları planlı şekilde yaygınlaştırılmalı; taşkın döneminde gelen suyun yeraltında depolanması stratejik bir hedef olarak benimsenmelidir.
- Üst havzalarda orman ekosistemlerinin korunması ve güçlendirilmesi, erozyon kontrolü ve sulak alanların yeniden işlevlendirilmesi temel öncelik olmalıdır.
- Taşkın yatakları, sulak alanlar ve doğal depolama birimleri “geçici depolama ve beslenme alanları” olarak planlanmalı; bu alanların işlevini zayıflatan arazi kullanım kararlarına sınırlama getirilmelidir.
- Tarım ve arazi kullanım kararları, havzanın mevcut ve öngörülen su potansiyeli dikkate alınarak planlanmalıdır.
- Su tüketimi yüksek ürünlerin kuraklık riski taşıyan havzalarda kademeli olarak sınırlandırılması ve daha düşük su talebine sahip üretim biçimlerinin teşvik edilmesi sağlanmalıdır.
- Sulama birlikleri ve üretici örgütleri, izleme verilerine dayalı planlı su dağıtımına geçmeli; su verimliliği teknolojileri (basınçlı sulama, hassas sulama, izleme tabanlı sulama planı) teşvik–denetim bütünlüğüyle yaygınlaştırılmalıdır.
- Üniversiteler ve araştırma kurumlarıyla sürdürülebilir iş birlikleri kurularak; eğilim analizi, modelleme, senaryo üretimi ve etki değerlendirmesi çıktıları doğrudan planlama ve uygulama süreçlerine entegre edilmelidir.
- Su bütçesi etkisi yüksek yatırım ve imar kararlarında “su bütçesi uygunluk” şartı getirilmesi (havza su bütçesi ile uyumsuz projelerin koşullu onayı / revizyon zorunluluğu).
- Kentlerde “sünger altyapı performans puanı” uygulaması (geçirgenlik, hasat, depolama, yeşil çatı vb. bileşenlerle puanlama; belirli eşik üstüne teşvik).
- Akifer baskısı yüksek havzalarda “çekim–dengeleyici yatırım” kuralı (büyük kullanıcılar için sızdırma/hasat/yapay besleme yatırımı yükümlülüğü).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu politika raporu, Türkiye'nin artan kuraklık riski karşısında su kaynaklarının korunması, verimli kullanımı ve sürdürülebilir yönetimi için bütüncül ve uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinin giderek belirginleştiği, yağış rejimlerinin düzensizleştiği ve su talebinin hızla arttığı mevcut koşullarda, kuraklık artık geçici bir çevresel sorun değil; ekonomik, sosyal ve ekolojik boyutları olan yapısal bir risk haline gelmiştir.

Raporda ele alınan su kayıp ve kaçaklarıyla mücadele, gri suyun yeniden kullanımı, yağmur suyu hasadı, yeraltı suyu yönetimi, kurakçıl peyzaj uygulamaları, sanayide sıfır sıvı deşarjı (ZLD), yüzeysel sularda buharlaşmanın azaltılması ve kuraklık indeksleri gibi yaklaşımlar; yalnızca su arzını artırmaya değil, mevcut kaynakların sistem içinde daha uzun süre tutulmasına ve talebin azaltılmasına odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, kuraklıkla mücadelenin temelini oluşturan “koruma–verimlilik–yeniden kullanım” ilkeleriyle doğrudan örtüşmektedir.

Özellikle veri temelli su yönetimi araçları (akıllı sayaçlar, SCADA sistemleri, su kullanım haritaları, kuraklık indeksleri ve erken uyarı sistemleri), su yönetimini reaktif bir yapıdan çıkararak öngörücü ve bilimsel temelli bir modele dönüştürme potansiyeline sahiptir. Havza bazlı yönetim anlayışı, yeraltı ve yüzey sularının birlikte ele alınmasını sağlayarak sektörel rekabeti azaltmakta ve uzun vadeli su güvenliğini desteklemektedir.

Raporda sunulan politika ve çözüm önerilerinin başarısı; merkezi ve yerel yönetimler arasında güçlü kurumsal koordinasyonun sağlanmasına, mevzuat altyapısının güncellenmesine, ekonomik teşvik mekanizmalarının etkin şekilde uygulanmasına ve toplumun tüm kesimlerinde su farkındalığının artırılmasına bağlıdır. Kuraklıkla mücadelede teknik çözümler kadar, davranış değişikliği ve katılımcı yönetim modelleri de belirleyici bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, bu raporda önerilen politikaların ulusal ve yerel düzeyde hayata geçirilmesi; Türkiye'nin kuraklık karşısındaki kırılganlığını azaltacak, su kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletecek ve iklim değişikliğine uyum kapasitesini önemli ölçüde güçlendirecektir.

Kuraklıkla mücadele, bir tercih değil, zorunluluktur. Bu rapordaki politika ve çözüm önerileri yalnızca suyu kurtarmayı değil, tarımsal üretimi, sanayiye ve halk sağlığını güvence altına almayı hedeflemiştir.