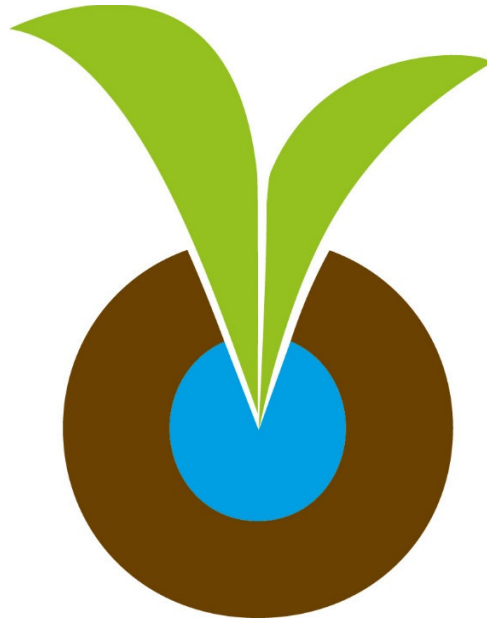


# Akiferlerin İklim Değişikliğine Karşı Hassasiyeti

Yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi için  
öneriler ve en iyi uygulamalar



COST Action CA19120 için hazırlanan belge: Yeraltı suyu besleniminden bitki transpirasyonuna kadar kritik bölgede su suda izotop çalışmaları (WATSON)

<https://watson-cost.eu/>

© 2024, WATSON, Floransa Üniversitesi, İtalya

Yazarlar:

Konstantinos Voudouris (Aristotle University of Thessaloniki, Yunanistan)

Manuel Sapiano (Enerji ve Su Ajansı, Malta)

Katkı koyanlar:

Miriam Coenders-Gerrits, (Delft Teknoloji Üniversitesi, Hollanda) Marina Gillon (Avignon Üniversitesi, Fransa)

Tugbanur Ozen Balaban (İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Türkiye)

Gabriele Chiogna (Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Almanya)

Ilja van Meerveld (Zürich Üniversitesi, İsviçre)

Bu yayın, COST (Bilim ve Teknolojide Avrupa İşbirliği) tarafından desteklenen COST Action WATSON, CA19120 çalışmasına dayanmaktadır.

COST (Bilim ve Teknolojide Avrupa İşbirliği), araştırma ve yenilik ağı için bir finansman ajansıdır. Eylemlerimiz, Avrupa'daki araştırma girişimlerini birbirine bağlamaya yardımcı olur ve bilim insanlarının fikirlerini meslektaşlarıyla paylaşarak geliştirmelerini sağlar. Bu da onların araştırmalarını, kariyerlerini ve yenilikçiliklerini artırır.

[www.cost.eu](http://www.cost.eu)



## Giriş

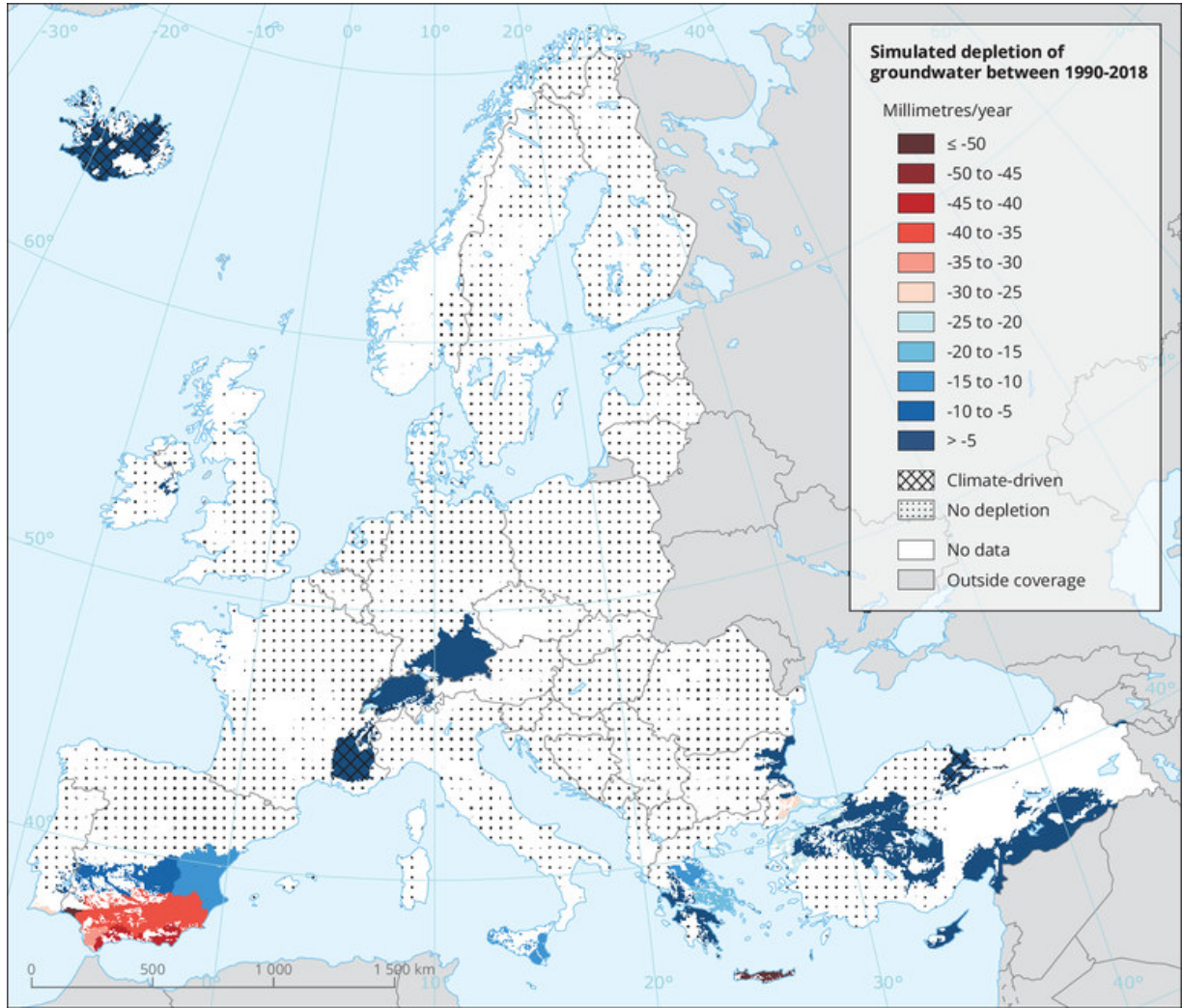
Yeraltı suyu değerli bir doğal kaynaktır ve evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım için su ihtiyacının karşılanması yanı sıra yeraltı suyuna bağımlı karasal ekosistemlerin ihtiyaçlarının sürdürülmesinde önemli bir rol oynar. Yeraltı suyu, özellikle kurak mevsimlerde yağış eksikliği ile karakterize edilen ülkelerde önemlidir. Küresel olarak, yeraltı suyu içme suyu arzının yaklaşık %26'sını, sulu tarım için kullanılan suyun %42'sini ve doğrudan endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılan suyun %24'ünü sağlamaktadır (IAH, 2016). Avrupa'daki ana akifer sistemleri kumlar, çakıllar, kumtaşları, konglomeralar (gözenekli akiferler), kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve mermerlerde (karstik akiferler) gelişmiştir.

Yeraltı suları, kentleşme, gıda üretimi için artan talepler, su kalitesinin bozulması, kötü yönetim ve iklim krizi de dahil olmak üzere arazi kullanımındaki değişikliklerle daha da kötüleşen birçok baskı altındadır. Bu baskılar, yeraltı suyunun aşırı kullanımı (kurak mevsimde diğer kaynakların doğal kıtlığı ve/veya yüzey ve kaynak sularının yetersiz kullanımı nedeniyle) ve rezervlerdeki azalma (negatif/açık su dengeleri) ile birlikte yeraltı suyu seviyelerinde düşüş ile karakterize edilen bir rejim yaratmaktadır. Şekil 1 ve 2 sırasıyla Avrupa'da yeraltı suyu seviyelerindeki düşüşün ve yeraltı suyu kaynaklarının tarımla kirlenmesinin iki karakteristik haritasını göstermektedir (Avrupa Çevre Ajansı verileri, <https://www.eea.europa.eu>). Bu haritalar, birçok akiferin kalite bozulmasından etkilendiğini, özellikle de deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle potansiyel olarak daha da kötüleşecek olan aşırı su çekiminin doğrudan bir sonucu olarak deniz suyu girişine bağlı tuzlanma ve gübre ve tarımsal kimyasalların kullanımına bağlı nitrat, pestisit ve diğer kirleticilerin neden olduğu kirliliği göstermektedir.

Yeraltı suyu kirliliğine yönelik bir diğer tehdit de arıtılmamış evsel ve endüstriyel atık suların yüzey sularına ve/veya fosseptiklere kontrolsüz bir şekilde boşaltılması ve belediye kanalizasyonlarındaki sızıntılardır. Kirlenmiş yeraltı suyu, yoğun nüfuslu bölgelerde ve yoğun tarımsal ve endüstriyel faaliyet alanlarında yaygındır (WWDR 2022). Bununla birlikte, uzun süreli aşırı pompalama, alüvyon akiferlerdeki su tablasını önemli ölçüde düşürerek arazi çökmesinin yayılmasına katkıda bulunacak, su şebekelerine, hizmetler de dahil olmak üzere yüzey altyapısına zarar verecektir.

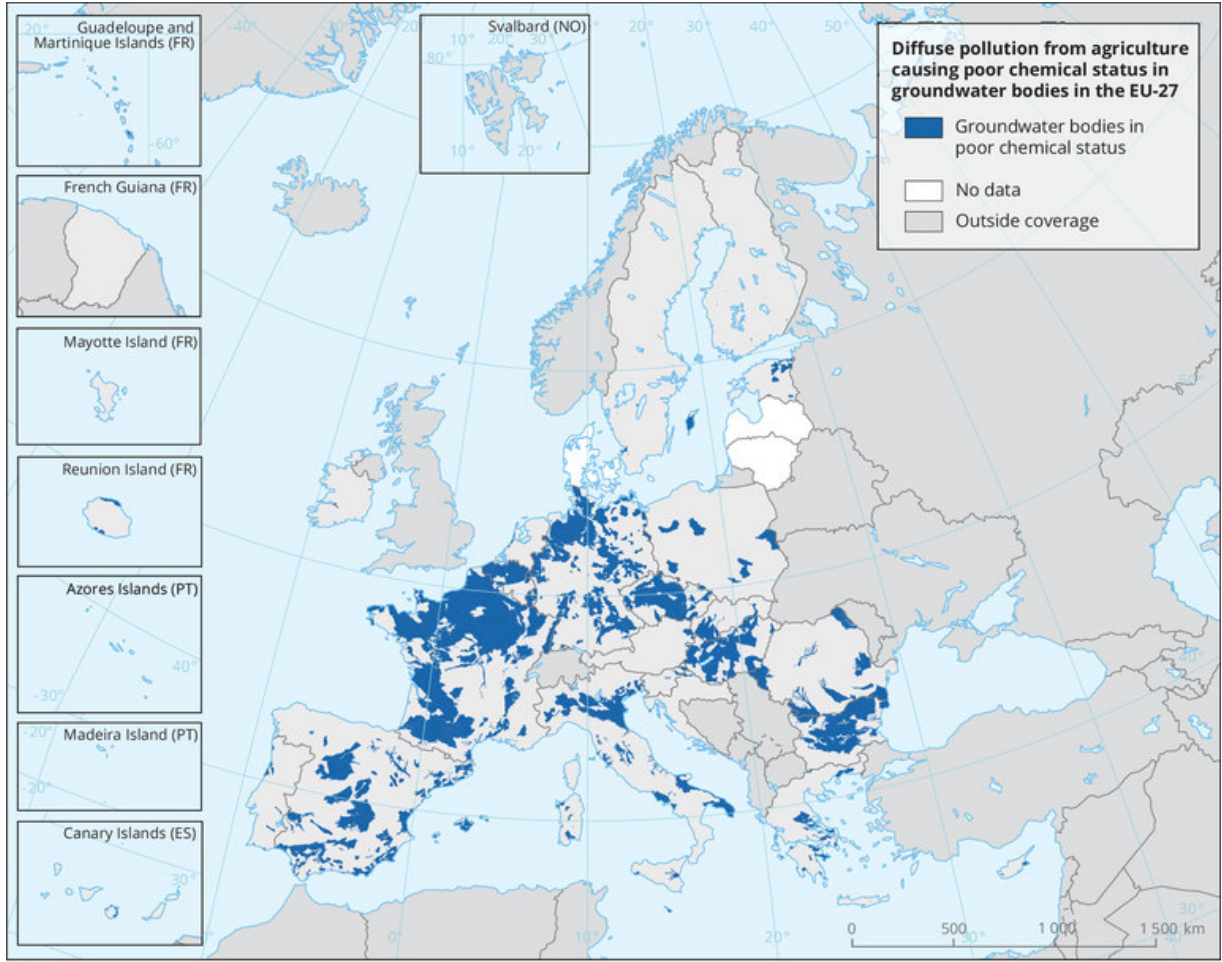
Yeraltı suları iklim değişikliğine karşı birçok yüzey suyu kaynağından daha dirençli olmasına rağmen (Amobichukwu vd., 2020), iklim değişikliği akifer sistemlerinin yeniden beslenimini etkileyeceği için savunmasız kalmaktadır. İklim krizinin (seller, kuraklıklar, yağışların azalması) ve buna bağlı olarak aşırı iklim olaylarının yaygınlaşmasının su döngüsünü ve dolayısıyla yeraltı suyu kaynaklarının doğal beslenimini etkileyeceğine dikkat çekilmiştir. Su yetersizliği hassasiyeti genellikle iklim değişikliğinin yeraltı suları üzerindeki olumsuz etkilerini tanımlamak için kullanılır. Nistor (2020), iklim değişikliğine karşı yüksek ve çok yüksek yeraltı suyu hassasiyet sınıflarına sahip alanların orta ve kuzeybatı Avrupa'da, Britanya Adaları'nın güneyinde, tarım alanlarında ve

büyük ovalarda (Kuzey Avrupa Ovası, Po Ovası, Romanya Ovası) dağıldığını, dağlık ve tepelik alanlar için ise orta, düşük ve çok düşük hassasiyet sınıflarının belirlendiğini öne sürmektedir (Şekil 3). Bu sonuçlar aynı zamanda Avrupa'nın yeraltı suyu kalitesi ve miktarının iklim değişikliği (örn. su mevcudiyetinin azalması) ve insan faaliyetleri (örn. düzenli depolama alanları, tarım ve sulama uygulamaları) nedeniyle baskı altında olduğunu göstermektedir.

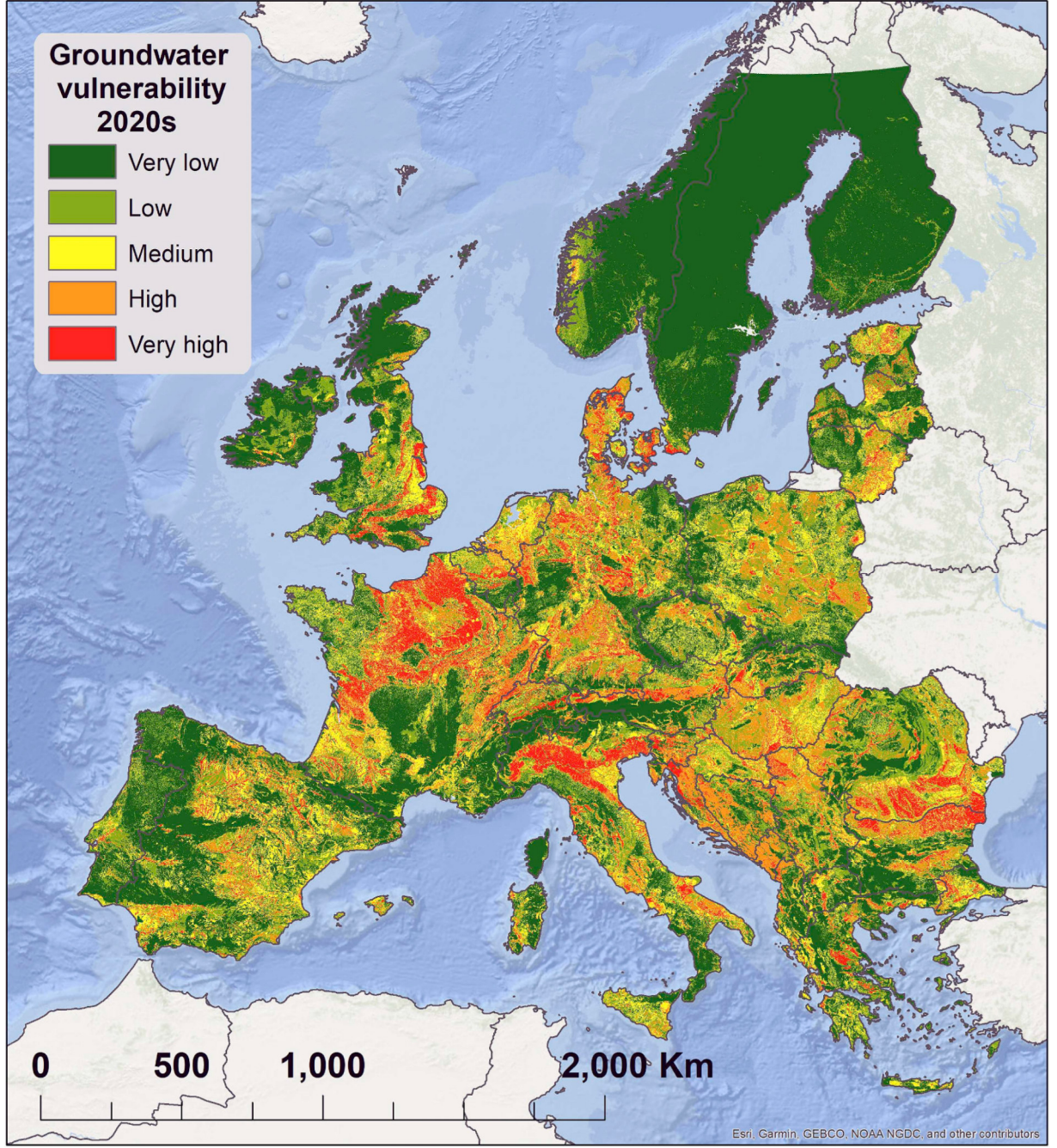


Reference data: ©ESRI

**Şekil 1:** Avrupa'da 1990-2018 yılları arasında yeraltı suyu seviyesindeki düşüş (EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



**Şekil 2:** Avrupa'daki yeraltı suyu kaynaklarında tarımdan kaynaklanan kirlilik (AÇA, <https://www.eea.europa.eu>).



**Şekil 3:** Mevcut dönem (2020'ler) için Avrupa'nın yeraltı suyu kırılganlık haritası (Nistor, 2020).

## Öneriler ve en iyi uygulamalar

Yeraltı suları iklim krizine uyum sağlamamıza ve ekosistemleri korumamıza yardımcı olabilir. Bu nedenle akılcı bir şekilde kullanılmalı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmelidir. Su, döngüsel ekonominin merkezinde yer alır. Atık suyun yeniden kullanımından başlayarak döngüsel ekonomiye odaklanılmalıdır. Beklenilmeyen olayların etkisini dengeleyen ve böylece yeraltı suyu sistemlerinin sürdürülebilirliğini garanti altına alan Akifer Beslenimi Takibi gibi çözümler yoluyla akifer sistemlerinin restorasyonu da aynı derecede önemli bir role sahiptir. Ayrıca, arazi kullanımı ve yeraltı suyu beslenimi arasındaki etkileşim ve koruma, yeraltı suyu kaynaklarının yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, Avrupa Projesi PROLINE-CE (<https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html>) içme suyunun korunmasına odaklanarak uygulanabilecek arazi kullanım yönetimi uygulamalarını belirlemiştir. Ayrıca, entegre su kaynakları yönetimi çerçevesi göz önünde bulundurularak, taşkın ve kuraklık yönetimi uygulamaları da yeraltı suları üzerindeki etkileri dikkate alınarak tasarlanabilir. Son olarak, yeraltı suyu kaynaklarının daha iyi yönetilmesi için gerekli eylemlerin etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamak üzere politika kılavuzlarının uyarlanması da gerekmektedir.

5R ilkelerinin (azalt, yeniden kullan, geri kazan, geri dönüştür, yenile) uygulanması yoluyla su verimliliğinin ve yeraltı suyu sürdürülebilirliğinin iyileştirilmesi, Tablo 1'de gösterildiği gibi aşağıdaki önerilerle sağlanabilir (Findidakis ve Sato, 2011; Voudouris, 2024):

1. Yüzey suyu ve yeraltı suyunun eş zamanlı kullanımı, su kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkaracak ve artan sulama suyu talebini karşılayacaktır (talep yönetimi). Etkili yeraltı suyu korumasının, yeraltı suyunun tek başına değil, yüzey suyu ve diğer alternatif (konvansiyonel olmayan) su kaynaklarını da içeren entegre bir su kaynakları yönetimi çerçevesinde ele alınmasıyla sağlanabileceği belirtilmektedir.
2. Güvenilir ve gerçek zamanlı veri toplamak ve izleme verilerini yorumlama kapasitesini geliştirmek için temsili izleme ağlarına vurgu yapılması. Etkili paydaş katılımlı bilginin yayılması, paydaş farkındalığının ve katılımının teşvik edilmesi ve bilginin paydaşların anlayabileceği bir şekilde sunulmasının sağlanması. Yeraltı suyu beslenimi çalışmaları, haritalar ve suda kararlı izotop örnekleme sahalarına ilişkin veriler WATSON web sitesinde bulunabilir (<https://watson-cost.eu>).
3. Ekolojik etki değerlendirmesini takiben ve yerel koşulları dikkate alarak, şiddetli yağışların yeraltına akışını geciktirmek ve yeraltı suyu beslenimini artırmak (arz yönetimi) için ana sellerde küçük su tutma barajlarının inşa edilmesi.
4. Su tasarrufu sağlayan teknikler kullanarak sulama suyunun. Her durumda, sulama yöntemleri iklime, ürüne ve toprak türüne göre uyarlanmalıdır. İzotop verileri, bitki örtüsü tarafından kullanılan suyun kaynağının belirlenmesine yardımcı olabilir (WATSON WG2).
5. Denize ve çevreye karışan su miktarını azaltmak ve özellikle su kıtlığı olan bölgelerde sulama için su sağlamak amacıyla arıtılmış atık suyun döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden kullanılması.

6. Doğal tatlı su kaynaklarının restorasyonunu ve verimli kullanımını teşvik etmek için ekonomik teşviklerle birlikte su kaynaklarının verimli kullanımını teşvik etmek için yeterli düzeyde maliyet geri kazanımı (kaynak ve çevresel maliyetler dahil) sağlayan fiyatlandırma politikalarının benimsenmesi. Su çekimine sınırlar getirerek akiferlerin aşırı kullanımının önlenmesi.
7. Gübre ve tarımsal kimyasalların kullanımını azaltmak için en iyi tarım uygulamalarının uygulanması. Bu, belirli bir ürün için doğru toprakta doğru zamanda doğru türde ve dozda gübre kullanmak anlamına gelir. WATSON COST Eyleminin bir parçası olarak, nitrat izotop verilerinin kullanımına ilişkin bir inceleme makalesi yayınlanmıştır (Matiatos vd., 2023).
8. Nehir havzası düzeyinde, yeraltı suyunu kapsamlı bir yönetim çerçevesi içinde ele alan su koruma önlemleri, mevcut gelişimin düzenlenmesi, mevcut mevzuatın iyileştirilmesi, kamu eğitimi ve bilinçlendirme dahil olmak üzere uygun bir dizi yönetim stratejisinin benimsenmesi.
9. Taşkın kontrol barajları, dağlık alanlardaki sellerde küçük durdurma barajları, su depolama tankları vb. gibi uygun altyapının inşası yoluyla entegre nehir havzası yönetim planları dahilinde taşkınların ve kuraklıkların yönetilmesi.
10. Yeraltı suyunun dış kirliliğe karşı hassasiyetinin değerlendirilmesi ve güvenli içme suyu (yeterli miktar ve kabul edilebilir kalite) için sondaj kuyuları ve kaynakların etrafındaki koruma bölgelerinin belirlenmesi.
11. Yeraltı sularının sürdürülebilir yönetimi, bazı akiferler sınır aşan nitelikte olduğu için ulusal ve uluslararası su güvenliği meselesidir. Bu durum, çatışmaları çözmek için ilgili ülkeler arasında işbirliğine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir.
12. Özellikle akıllı cihazlar ve sensörler, akıllı ağlar ve gelişmiş veri analitiği geliştirerek kalite ve miktar üzerinde olumlu etkileri olan "dijital su" aracılığıyla sürdürülebilir ve verimli su yönetiminin sağlanması (Water Europe, 2020).

**Tablo 1:** 12 tavsiyenin 5R ilkeleri modeli ile uyumu.

Kayıtlı olmayan	Azaltma	Yeniden kullanım	Kurtarmak	Geri Dönüşüm	Yenilemek
1	+		+		
2	+			+	
3			+		+
4	+				
5		+			
6			+		
7	+				
8			+		+
9					+
10					
11					

## Sonuçlar ve Öneriler

Yeraltı suyu güvenilir bir su kaynağıdır, ancak yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi ve idaresi çok karmaşıktır. Son olarak, insan zekası ve hidro-teknolojinin (dronlar, GIS, uzaktan algılama, uydular, Nesnelerin İnterneti (IoT), vatandaş bilimi, dijital su ve modelleme-yeraltı suyu akış simülasyonu) olağanüstü gelişimi, insanlığın gelecekte iklim krizine uyum sağlama yeteneği için uygun çözümlerdir. Bu nedenle, gezegenin refahı ve insan yaşamının onuru için yeraltı suyu kaynaklarının korunması amacıyla hükümetler, bilim insanları ve toplumun geneli tarafından daha fazla çaba sarf edilmesi gerekmektedir.

## Referanslar

- Amobichukwu C. Amanambu, Omon A. Obarein, Joann Mossa, Lanhai Li, Shamusideen S. Ayeni, Olalekan Balogun, Abiola Oyebamiji, Friday U. Ochege (2020). Yeraltı suyu sistemi ve iklim değişikliği: Mevcut durum ve gelecekteki düşünceler, Hidroloji Dergisi, 125163, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>.
- Avrupa Çevre Ajansı (AÇA). <https://www.eea.europa.eu>.
- Findidakis, A.N., Sato, K. (2011). Yeraltı suyu yönetimi uygulamaları. IAHR Monograf, UNESCO-IHP, CRC Press/Balkema.
- Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) (2016). eNews. [www.iah.org](http://www.iah.org)
- Matiatos, I., Moeck, C., Vystavna, Y., Marttila, H., Orłowski, N., Jessen, S., Evaristo, J., Sebiló, M., Koren, G., Dimitriou, E., Müller, S., Panagopoulos, Y., Stockinger, M.P. (2023) Havza hidrolojisinde nitrat izotopları: modeller için içgörüler, fikirler ve çıkarımlar. Hidroloji Dergisi 130326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130326>
- Nistor, M.-M. (2020). İklim değişikliği altında Avrupa'da yeraltı suyu kırılganlığı. Quaternary International, Cilt 547, 185-196.
- BM Dünya Su Kalkınma Raporu, WWDR (2022). Yeraltı suyu, görünmeyeni görünür kılmak. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>
- Voudouris, K. (2024). Yunanistan'da iklim krizine uyum sağlamada yeraltı suyunun rolü. Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management, Bölüm 62, 271-276. Düzenleyenler: Koundouri Ph. ve Alamanos, A.
- Water Europe (2020). COVID-19 sonrası başarılı bir kurtarma planı için su konusunda akıllı bir toplum. <https://watereurope.eu>

# WATSON



## COST ACTION

<https://watson-cost.eu/foac/>



Funded by  
the European Union