

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN  
TÜRKİYE YERALTISUYU  
KAYNAKLARINA ETKİSİ**

**THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATER  
RESOURCES IN TÜRKİYE**

---

*Alper BABA*  
*Nilüfer TIROL*



# İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE YERALTISUYU KAYNAKLARINA ETKİSİ

**Alper BABA**

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*

**Nilüfer TİROL**

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*

## Özet

Günümüzde yeraltı suyu, küresel su çekimlerinin yaklaşık üçte birinin kaynağıdır ve dünya nüfusunun büyük bir kısmına içme suyu sağlamaktadır. Atmosferik koşullara karşı daha korunaklı olduğu için yeraltı suyu kaynakları yerüstü su kaynaklarına nazaran daha güvenilir bir kaynak olarak kabul edilir. İklim değişikliği, su kaynaklarının temini ve yönetimine ilişkin belirsizlikler oluşturmaktadır. İklimin iki temel unsuru sıcaklık ve yağış trendi, bölgesel kuraklıkları, taşkın sıklığı ve şiddetini, yüzeysel akış miktarlarını etkilerken nihai olarak yeraltı suyunun beslenme ve deşarj mekanizmaları da bu değişimlerden etkilenir. İklim değişikliğinin yarattığı etkilere karşı en savunmasız ülkelerden birisi Türkiye'dir. Ülkenin ortalama hava sıcaklığı 1990'lardan beri sürekli artış eğilimindedir ve yağış rejimleri değişmektedir. İklim etkenleri, nüfus artışı, tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin artması, ruhsatsız kuyular yeraltı suyunu arz ve talebi üzerinde değişiklikler yaratmaktadır. Türkiye'de tarımsal amaçlı yeraltı suyunun kullanımı her sene daha da artmaktadır ve günümüzde bu oran %67'dir. Geçmişten günümüze su seviyeleri incelendiğinde, yeraltı suyu kaynakları çoğu bölgede azalma hatta bazı bölgelerde tükenme sorunu ile karşı karşıyadır. Özellikle, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde yeraltı suyu seviyeleri bazı kuyularda 100 metreye kadar düşmüştür. Bu azalış eğiliminin devamı, evsel, endüstriyel ve tarımsal sulama için önemli bir kaynak olan ve kurak dönemlerde akarsuları besleyerek ekosistemin devamlılığını sağlayan akiferler için geri döndürülemez sorunlara yol açabilir. Ayrıca gelecek için yapılan öngörüler, iklim değişikliği ve artan su talepleri nedeniyle Türkiye'nin birçok yerinde su stresinin daha da artacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yeraltı suyunun mevcut durumunu değerlendirmek ve iklim değişikliğinin yaratacağı etkileri tahmin ederek su yönetim politikaları geliştirmek su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için büyük önem taşımaktadır. Bu makale, iklim değişikliği ve Türkiye'nin yeraltı suyunun mevcut durumu hakkında genel bir çerçeve sunmaktadır.

## **Anahtar Kelimeler**

*Yeraltı suyu kaynakları, İklim değişikliği, Su stresi, Türkiye*

## THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON GROUNDWATER RESOURCES IN TÜRKİYE

*Alper Baba*

*İzmir Institute of Technology*

*Nilifer Tirol*

*İzmir Institute of Technology*

### Abstract

Today, groundwater is the source of about a third of global water withdrawals and provides drinking water to a large proportion of the world's population. Groundwater resources are considered a more reliable source than surface water resources, as they are more protected against atmospheric conditions. Climate change creates uncertainties regarding the supply and management of water resources. While the two basic elements of the climate the temperature and precipitation trend affect the regional droughts, the frequency, and severity of floods, the amount of surface runoff, and the recharge and discharge mechanisms of groundwater are also affected by these changes. Türkiye is one of the most vulnerable countries to the effects of climate change. The country's average air temperature tends to increase continuously since the 1990s, and precipitation regimes are changing. Climate factors, population growth, increase in agricultural and industrial activities, and unlicensed wells create changes in groundwater supply and demand. The use of groundwater for agricultural purposes in Türkiye is increasing every year and today this rate is 67%. When the groundwater levels are examined from past to present, these resources are faced with the problem of decrease in most regions and even depletion in some regions. In particular, in the Marmara, Aegean, Central Anatolia, and Southeastern Anatolia regions, the groundwater levels have decreased about 100 meters. The continuation of this trend may cause irreversible problems for aquifers, which are an important source for domestic, industrial, and agricultural irrigation and provide the continuity of the ecosystem by feeding the streams in dry periods. In addition, projections for the future reveal that water stress will increase in many parts of Türkiye due to climate change and increasing water demands. For this reason, it is of great importance for the sustainable use of water resources to evaluate the current situation of groundwater and to develop water management policies by predicting the effects of climate change. This article provides a general framework on climate change and the current state of Türkiye's groundwater.

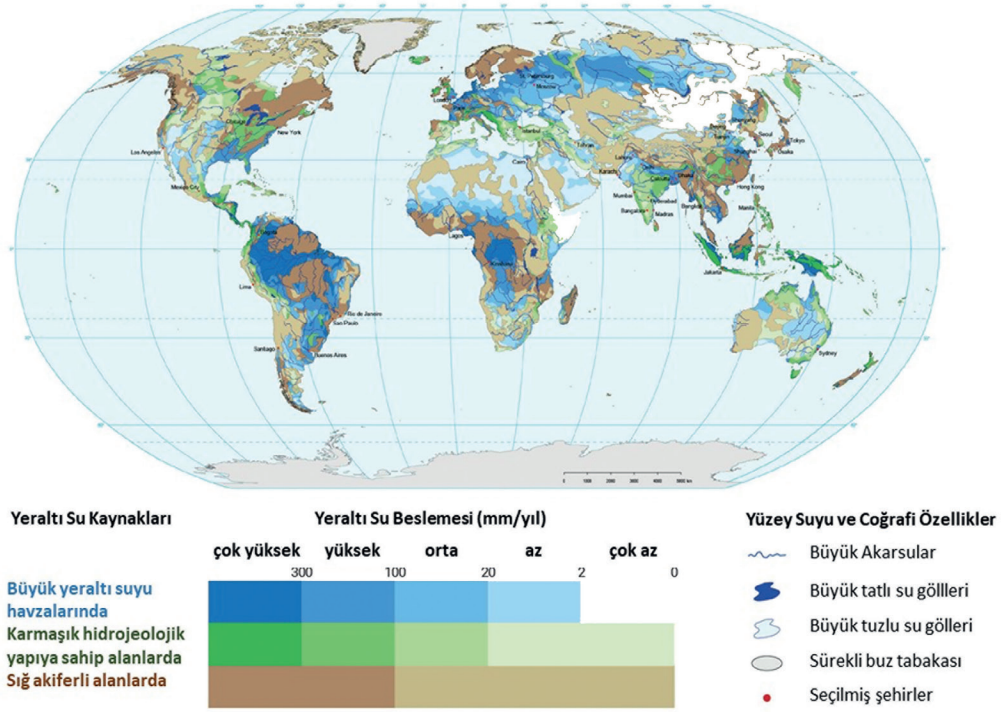
### *Keywords*

*Groundwater resources, Climate change, Water stress, Türkiye*

## 1. Giriş

Su, dünyada en bol bulunan bileşiklerden birisi olmasına rağmen su kaynaklarının çoğunluğunu tuzlu sular oluşturur. Küresel tatlı su hacmi 10.6 milyon km<sup>3</sup> olarak tahmin edilmekle birlikte bu değer dünya üzerindeki tüm suyun %1'inden azına tekabül etmektedir (Shiklomanov & Rodda, 2003). Bu hacmin ise yaklaşık %99'u yeraltı suyu kaynaklarından oluşur. Yeraltı suyu kaynakları, evsel, endüstriyel ve tarımsal su taleplerinin büyük bir kısmını karşılayan kritik tatlı su kaynaklarıdır (Döll, 2009; Okkonen vd., 2010). Teknolojik gelişmelerin etkisiyle (özellikle verimli pompaların kullanımı ve kırsal alanların elektrifikasyonu) küresel yeraltı suyu çekim miktarında artış yaşanmıştır. Küresel çapta yeraltı suyu çekimi 1960'larda yılda 312 km<sup>3</sup> iken 2000'de 743 km<sup>3</sup>'e ve 2017'de 959 km<sup>3</sup>'e yükselmiştir (Wada vd., 2010; UN WWDR, 2022).

Şekil 1'de küresel ölçekte yeraltı suyu kaynaklarının dağılımı gösterilmektedir. Mavi renk büyük yeraltı suyu havzalarını, yeşil renk karmaşık hidrojeolojik yapıya sahip alanları ve kahverengi renk yeraltı suyu gelişimi için daha az elverişli alanları temsil etmektedir. Mavi ile temsil edilen alanlar dünyada depolanan tüm tatlı yeraltı suyunun en büyük payını içerirken aynı zamanda yeraltı suyunun çıkarılması için en uygun koşulları da sunarlar. Yeşil ile temsil edilen alanlarda yeraltı suyu genellikle çatlaklı jeolojik birimlerde depolanır. Bu kaynakların üretkenliği, büyük yeraltı suyu havzalarından daha az olma eğilimindedir.



Şekil 1. Küresel yeraltı suyu kaynakları (URL-1: BGR/UNESCO; 2008).

Atmosferdeki kısa vadeli değişkenlikten korunduğu için, yeraltısuyu genellikle istikrarlı ve güvenilir bir kaynak olarak kabul edilir. Su stresi yaşayan ve büyük akifer sistemleri olan bölgelerde, yeraltısuyu genellikle ek su kaynağı olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar oranlar bölgelere ve sahip oldukları iklimsel özelliklere göre değişse de yeraltısuyu kaynaklarının sulama amaçlı kullanım amacı genellikle toplam yeraltısuyu tüketiminin %60-70'ini oluşturmaktadır (Jakeman vd., 2016; Amanambu vd., 2020). Artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için yeraltısularından yapılan aşırı çekimler, kalıcı olarak yeraltı su seviyelerinin hızla azalmasına ve hatta tükenmesine yol açabilir. (Gleeson vd., 2010). Ayrıca, yeraltısuyu seviyelerinin düşmesi, yerüstü su kaynakları ile doğrudan ilişkisi nedeniyle yeraltısuyuyla beslenen ekosistemler üzerinde de yıkıcı etkilere sahip olabilir.

Tatlı su hacmi, kıtalar arasında düzensiz bir şekilde dağılmıştır; bu düzensizlik kıtaların büyüklüğündeki ve birim alan başına ortalama tatlı su hacmindeki farklılıklarla açıklanmaktadır. Tablo 1'de, kıtalara göre 2017 yılındaki yeraltısuyu çekim tahminleri gösterilmektedir. Bu tabloya göre, 2017 yılında toplam küresel yeraltısuyu çekimi, dünya genelinde eşit olmayan bir şekilde dağılmış olarak yaklaşık 959 km<sup>3</sup> olmuştur. Asya kıtasındaki çekimler bu miktarın yaklaşık üçte ikisine tekabül etmektedir. Asya kıtasını, Kuzey Amerika %16'lık payıyla takip etmektedir. Ülkesel bazda incelendiğinde de bu durum kanıtlanmaktadır. Küresel yeraltısuyu çekiminde en yüksek paya sahip on ülkeden sekizi Asya kıtasında (Hindistan, Çin, Pakistan, İran, Endonezya, Bangladeş, Suudi Arabistan ve Türkiye) ve ikisi Kuzey Amerika'da (ABD ve Meksika) bulunmaktadır. Yeraltısuyu kaynaklarının artan kullanımı nedeniyle, dünya çapında yeraltısuyu kaynaklarının 1900'den 2008 yılına kadar 4500 km<sup>3</sup> azaldığı tahmin edilmektedir (Frappart & Ramillien, 2018). Su talebini karşılamada bölgesel farklılıklar etkin rol oynadığı için dünyanın birçok yerinde ülkeler su stresi ile karşı karşıyadır. Günümüzde 2 milyardan fazla insanın (dünya nüfusunun %35'i) şiddetli su stresinden muzdarip olduğu tahmin edilmektedir (Alcamo vd., 2000).

Tablo 1: 2017 yılındaki yeraltısuyu çekimleri (UN WWDR, 2022).

Kıta	Yeraltısuyu Çekimi (km <sup>3</sup> / yıl)	Toplam tatlı su çekimindeki yüzdesi (%)
Kuzey Amerika	156.6	16
Güney Amerika	27.3	~3
Avrupa	64.8	~7
Afrika	45.4	~5
Asya	656.7	68
Avustralya ve Okyanusya	8.1	~1
<b>Dünya</b>	<b>958.9</b>	<b>100</b>

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), iklimi “belirli bir zaman aralığı ve belirli bir alan üzerindeki ortalama hava durumu” olarak tanımlar. Onlarca yıl veya daha uzun süren değişkenlik ise, iklim değişikliği olarak adlandırılır. Yapılan birçok çalışma, bugün küresel olarak yaşadığımız bu değişimin insan aktiviteleri kaynaklı olduğunu belirtmektedir. Atmosferdeki karbondioksit seviyeleri 1950’lerden beri sürekli olarak artış eğilimindedir. Karbondioksit artışı ile birlikte artan sıcaklıklar hidrolojik döngü üzerinde de birçok etkiye neden olmaktadır. Ayrıca, çeşitli önlemler alınsa dahi küresel ısınma ve yaratacağı değişimlerin onlarca yıl daha devam edeceği konusunda fikir birliği vardır (Trenberth vd., 2006; IPCC, 2007)

İklim koşulları, hidrolojik sistemleri hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkiler. İklimin iki temel unsuru sıcaklık ve yağış trendi, bölgesel kuraklık ve taşkın sıklığı ve şiddetini, yüzeysel akış miktarlarını, yeraltısularının beslenme ve boşalım miktarını etkiler (Alley, 2001; Cuthbert vd., 2019). Gözlemsel veriler ve iklim tahminleri, tatlı su kaynaklarının hassas olduğuna ve toplum ve ekosistemler için geniş kapsamlı sonuçları olan iklim değişikliğinden güçlü bir şekilde etkilenme potansiyeline sahip olduğuna dair çok miktarda kanıt sağlamaktadır (Bates vd., 2008). Bugün iklim değişikliği, küresel olarak su kıtlığında öngörülen artışların yaklaşık %20’sinden sorumlu tutulmaktadır (Sophocleous, 2004).

Sıcaklıktaki artış buharlaşmanın artmasına neden olmakta ve hem yerüstü hem de yeraltısularının buharlaşma miktarı artmaktadır. Sıcaklık artışları devam ettikçe, su kaynakları üzerindeki baskıların da katlanarak artacağı belirtilmektedir (Loaiciga 1996; Milly vd., 2005; Holman 2006; IPCC 2007). İklim değişikliği, öncelikli olarak yerüstü su kaynaklarının kalite ve miktarında etkilere yol açsa da nihai olarak yeraltısuyu sistemleri de bu değişikliklerden etkilenir.

Yeraltısuyu beslenimi, yer altı rejimlerinin sürdürülebilirliği ve hidrolojik dengesi için ana belirleyici faktörlerden birisidir (Döll & Fiedler, 2008; Thampi & Raneesh, 2012). Bu süreç, yağışla birlikte başlar ve yüzeye biriken su kütleleri zaman içerisinde akiferlere sızar. Yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi atmosferik süreçler tarafından kontrol edildiği için iklimde yaşanan değişiklikler yeraltısuyu beslenme miktarını etkiler (Bates vd., 2008; Franssen, 2009; Cuthbert vd., 2019; Kumar, 2012; Amanambu vd., 2020; Chambel, 2015; Sowers vd., 2011). Yeraltıları etkileşimde olduğu yerüstü su kaynaklarından, bölgenin fiziki ve demografik yapısından ayrı olarak düşünülmemeli ve hidrolojik döngüyü etkileyecek bütün unsurlar bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

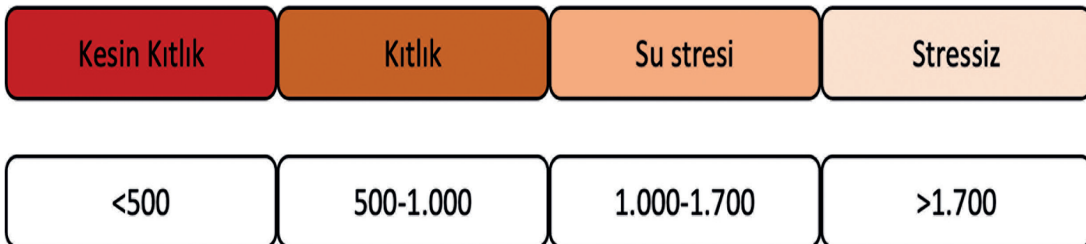
Su kaynaklarının iklim değişikliğine nasıl tepki verebileceğini daha iyi anlamak için son yıllarda çok sayıda bilimsel araştırma yapılmıştır. Ancak, bu çalışmalar görünürlükleri ve erişilebilirlikleri nedeniyle ağırlıklı olarak yerüstü su sistemlerine odaklanmıştır (Amanambu vd., 2020; Kumar, 2012; Patil vd., 2020). İklim değişikliğinin yeraltısuyu kaynakları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yerüstü sularına göre daha karmaşıktır. Değerlendirme için genellikle sayısal modeller ve veri korelasyon yöntemleri kullanılır. Sayısal modeller, toprak altı karakterizasyonunu, akifer sistemi kavramsal modelini, sınır koşullarını ve yeniden beslenme

ve çekim oranlarını içerir. Öte yandan, yeraltısu yönetimi için de bir karar verme aracı olarak sıklıkla kullanılan jeostatistik, yeraltısu depolama, rezervuar kapasitesi, yeraltısu seviyesi dalgalanması ve yeraltısu kaynaklarının kalitesinin belirlenmesini sağlar (Uyan & Çay, 2013; Xiao vd., 2016). Yeraltısu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için uzun vadede yaşanabilecek tüm değişimlerin değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2. Türkiye ve Su Stresi

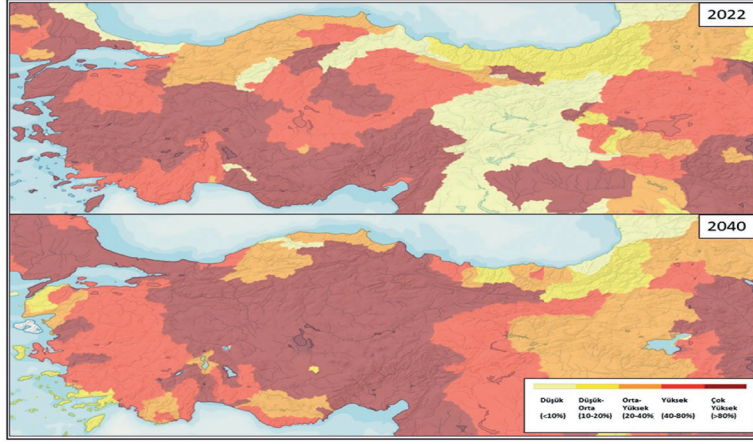
Yıllık ortalama yağışın 574 mm olduğu Türkiye’de kullanılabilir yerüstü suyu miktarı 94 milyar  $m^3$  iken kullanılabilir yeraltısu miktarı 18 milyar  $m^3$ ’tür. Türkiye’de stratejik bir kaynak olan yeraltısu içme-kullanma, tarımsal sulama ve endüstriyel amaçlarla kullanılmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak su tüketimi sürekli artmaktadır. Su ihtiyacını karşılamak için yeraltısu kaynaklarından kaynaklanan aşırı çekimler, yeraltısu seviyesinde önemli düşüslere neden olabilmektedir. Ülkelerin su kaynaklarını değerlendirmede önemli bir gösterge kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı bir diğer deyişle Falkenmark Göstergesi’dir (Şekil 2). Ev, tarım, sanayi ve enerji sektörlerindeki su gereksinimlerine ve çevrenin ihtiyaçlarına ilişkin tahminlere dayanarak, Falkenmark vd., (1989) bir ülkenin su stresi yaşamaması için eşik değerin yılda kişi başına 1700  $m^3$  yenilenebilir su kaynağı olduğunu önerdiler.

Türkiye’de kişi başına düşen su miktarı, artan nüfus ve değişen iklim koşullarına bağlı olarak yıllar içerisinde sürekli olarak azalma eğilimi göstermiştir. Örneğin 2000 yılında kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1652  $m^3$  iken bu değer 2020 yılında yaklaşık 300  $m^3$  azalarak 1346  $m^3$ ’e düşmüştür. Şekil 3’te Türkiye’nin günümüz ve 2040 yılındaki su stresi haritaları görülmektedir. 2040 yılındaki harita bugünkü mevcut koşulların aynı şekilde devam edeceği senaryo için üretilmiştir. 2022 tarihli harita incelendiğinde görülmektedir ki özellikle Marmara, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleri hali hazırda yüksek ve çok yüksek seviyelerde su stresi yaşayan bölgelerdir. İklimsel özellikler, demografik durum (nüfus yoğunluğu), endüstriyel ve tarımsal faaliyetler bu bölgelerin su stresi ile karşı karşıya olmasındaki ana unsurlar olarak değerlendirilebilir. 2040 yılında ise Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri dışındaki çoğu bölgede ciddi oranlarda su sorunları yaşanacağı öngörülmektedir.



Şekil 2. Falkenmark göstergesi ( $m^3/kişi/yıl$ ).



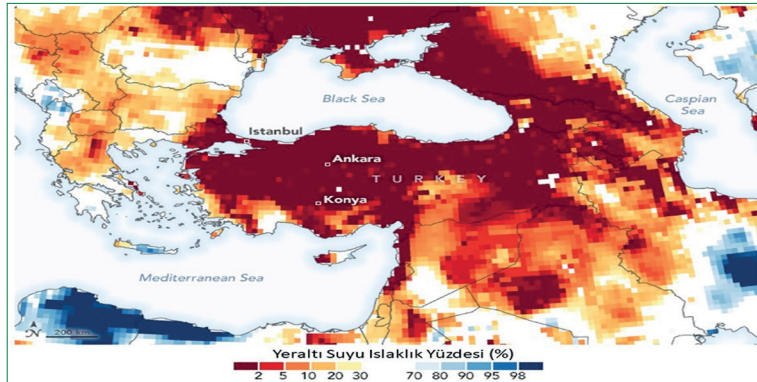


Şekil 3. Türkiye'nin 2022 ve 2040 yılı su stresi haritaları (URL-4, 2022).

### 3. Türkiye'de Yeraltısuyunun Mevcut Durumu

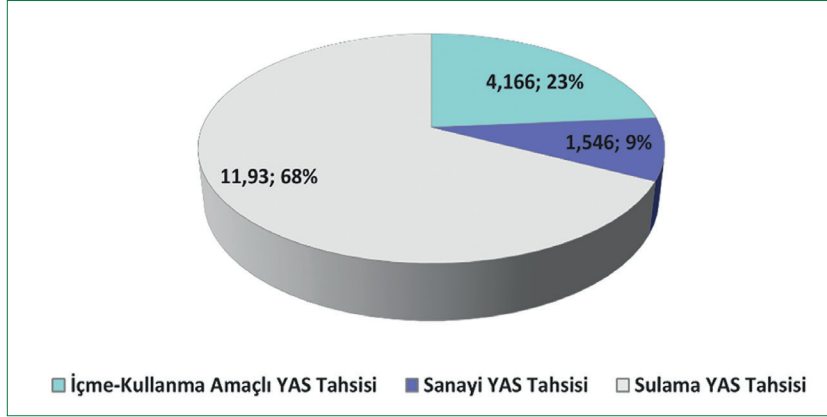
Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye, iklim değişikliğinin yarattığı değişikliklere en çok maruz kalan ülkelerden birisidir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, 1970'lerden bu yana yağışların azalması nedeniyle Akdeniz iklim kuşağında kuraklığın arttığına ve gelecekte de artmaya devam edeceğine işaret etmektedir (2007; 2021). Yapılan diğer çalışmalar, Türkiye genelinde sıcaklıkların özellikle 1990'lardan sonra sürekli olarak artış eğiliminde olduğunu göstermektedir (Türkeş vd., 1995; Türkeş, 2012; Tayanç vd., 2009; MGM, 2013).

NASA'nın GRACE-FO uydularından ve çeşitli sayısal modellerden yararlanarak oluşturduğu yeraltısuyu ıslaklığı haritalarında da bu durum net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Şekil 4, 1948-2010 arası dönemdeki uzun süreli ortalamalar ile 2021 yılı Ocak ayının karşılaştırılmasını göstermektedir. Mavi alanlar normalden daha fazla suya sahipken ve turuncu ve kırmızı alanlar daha az suya sahiptir. Yeraltısuyu kaynakları, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin yarattığı sonuçlar tarafından tehdit edilmektedir. Görüldüğü gibi, akiferlerdeki yeraltısuyu Türkiye'nin geneli için uzun süreli ortalamaların altındadır. Bu durumun devamı, içme suyu ve tarımsal sulama için önemli bir kaynak olan ve kurak dönemlerde akarsuları besleyebilen akiferler için ciddi sorunlar teşkil edebilir.



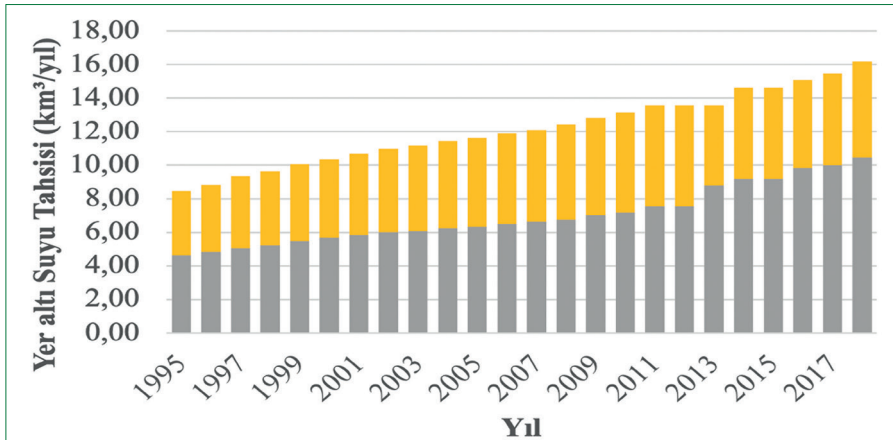
Şekil 4. Türkiye'nin yeraltısuyu ıslaklık haritası (NASA, 2021).

Türkiye’de 2018 yılında 61,5 km<sup>3</sup> su tüketilmiştir. Bu suyun %71,5’i sulama, %10,7’si evsel, %17,8’i endüstriyel amaçlarla kullanılmıştır. Bunun yaklaşık 16,2 km<sup>3</sup>’ü yeraltısuyu kaynaklarından karşılanmıştır. 2021 yılında bu değer 17,6 km<sup>3</sup>’e yükselmiştir. Şekil 5, 2021 yılı için sektörel bazda yeraltısuyu tahsis durumunu göstermektedir. Yeraltısuyu tahsislerinin %68 ile önemli bir kısmını tarım sektörü (sulama) tüketmektedir. Tarım sektörünü %23 ile evsel amaçlı tüketimler takip ederken son sırada %9 ile endüstriyel amaçlı kullanım gelmektedir.



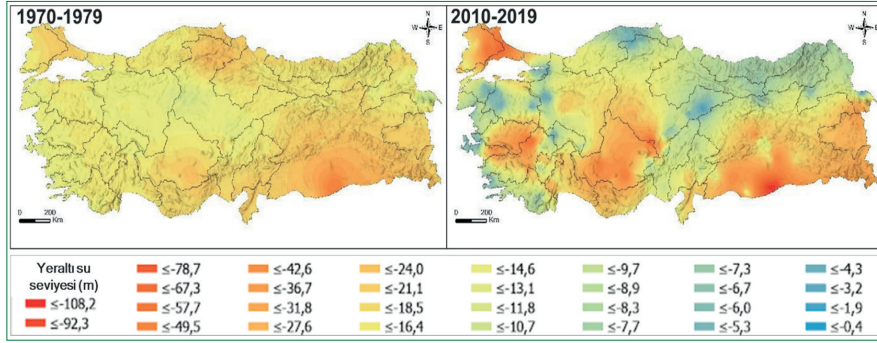
Şekil 5. Türkiye’de sektörel yeraltısuyu tahsisi 2018 (km<sup>3</sup>/yıl) (URL-3, 2022).

Türkiye’de yeraltısuyunun birincil kullanıcısı da tarım sektörüdür (Çakmak vd., 2004). Sulama için kullanılan yeraltısuyu miktarı yıllar içerisinde, artan nüfusun da etkisi ile sürekli olarak artmıştır (Şekil 6). 1995 yılında sulamada kullanılan yeraltısuyunun toplam yeraltısuyu tahsisi içindeki payı %55 civarında iken 2019 yılında bu değer %67’ye yükselmiştir (URL-2, 2020). Ayrıca, iklim değişikliğinin de etkisi ile Akdeniz iklim kuşağında sulama suyu ihtiyacının önümüzdeki dönemlerde bölgesel olarak değişmekle birlikte yüzde 4 ile 18 oranlarında artacağı öngörülmektedir (Galeotti, 2020).



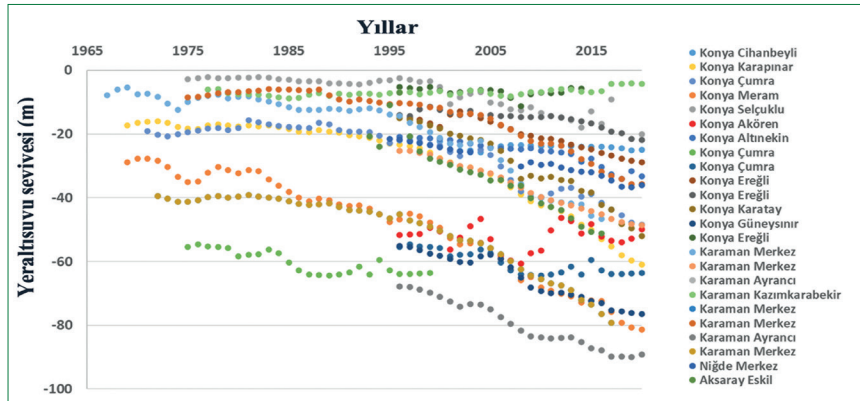
Şekil 6. Türkiye’de 1995-2019 yılları arası yeraltısuyu tahsisleri (URL-2, 2020). (Sarı renk evsel ve endüstriyel kaynaklı tahsisleri, gri renk tarımsal tahsisleri göstermektedir.)

Türkiye'nin yeraltı suyu seviyelerinin zamansal değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. Çalışmada, 1970-2019 arası toplamda 310 kuyu verisi incelenmiştir. Özellikle Marmara, Ege, İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri'nde incelenen kuyularda su seviyelerinde 100 metreyi bulan azalmalar gözlemlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalar da, Türkiye'nin farklı bölgeleri için yeraltı suyu seviyelerindeki azalma eğilimini destekler niteliktedir (Apaydın, 2010; Arkoç, 2022; Caló vd., 2017; Çelik, 2015; Lenk, 2013; Şimşek vd., 2020; Yagbasan, 2016).



Şekil 7. Türkiye'nin yeraltı suyu değişim haritaları (1970-1979 ile 2010-2019 dönemlerinin karşılaştırılması) (Tirol ve Baba, 2023, incelemede).

Devlet Su İşleri (DSİ) envanterinde kayıtlı ve sertifikalı 450 bin kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların yaklaşık 389 bini sulama amaçlı kullanılmakta ve yıllık 11.930 hm<sup>3</sup> sulama suyu tüketilmektedir (URL-3, 2022). Ruhsatsız kuyulardan yapılan izinsiz çekimler Türkiye'nin yeraltı suyu kaynaklarını etkileyen en kritik sorunlardan biridir. Ülkede 60 binden fazlası Konya Kapalı Havzası'nda olmak üzere 100 binin üzerinde ruhsatsız kuyu olduğu tahmin edilmektedir (URL-3, 2022). Konya Ovası'nda yeraltı suyunun tükenmesi nedeniyle yer yer toprak çökmeleri (obruklar) meydana gelmiştir (Caló vd., 2017). DSİ envanterinden alınan ve Konya Havzası'nda bulunan bazı kuyuların zaman içerisindeki yeraltı suyu seviyesi değişimleri Şekil 8'de verilmiştir. Özellikle 2000'li yılların başlarından itibaren bu bölgedeki yeraltı suyu seviyeleri sürekli olarak düşüş eğilimi göstermiştir.



Şekil 8. Konya Havzası'nda bulunan kuyuların yıllar içerisinde yaşadığı su seviye değişimleri (Tirol ve Baba, 2022, incelemede).

#### 4. Sonuç

Yeraltısuyu kaynakları, insan tüketiminin her alanında ihtiyaç duyulan doğal kaynaklar arasında yer almaktadır. Yeraltısuyu kaynakları sadece su temin edilmesi açısından değil, aynı zamanda yerüstü suyunun miktar ve kalite değişkenliğine karşı depo ve tampon görevi görmesi nedeniyle özellikle kurak dönemlerde yerüstü sularını beslemesi açısından da değerlidir. Yağışlardaki bölgesel değişiklikler ve sıcaklıktaki artış, su kaynaklarının miktar ve kalitesinde değişikliklere neden olur. Ayrıca nüfus artışı ve beraberinde artan su talebi, su kaynakları üzerinde ek baskıya neden olmaktadır. Türkiye’de yeraltısuyu seviyelerindeki değişimleri belirlemek için yapılan çalışmalar yeraltısuyu seviyelerinin azalma eğiliminde olduklarını göstermektedir. Özellikle tarımsal üretimin yüksek olduğu ve nüfusun yoğunlaştığı bölgelerde bu düşüş daha hızlı ve daha fazla gerçekleşmektedir.

Türkiye’de yeraltısuyu kaynaklarının yaklaşık üçte ikisini tahsis eden tarım sektöründe verimli su kullanımı öncelikli hedef olmalıdır. Son yıllarda kuyulara su sayaçlarının takılması ve verimli sulama teknolojilerinin benimsenmesi ile birlikte suyun sürdürülebilir kullanımında gelişmeler yaşanmıştır. Su kaynaklarının daha verimli kullanılması için her sektörde çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir. Çiftçilerin suyu daha verimli kullanan uygulamalar konusunda bilgilendirildiği eğitim ve bilgi paylaşım programları ile su ve maliyet tasarrufu sağlanabilir. Tarımda ve diğer sektörlerde artılmış atık su kullanımlarının yaygınlaştırılması ile daha fazla tatlı su kaynağı oluşturulabilir. Ayrıca artılmış sular, yeraltısuyu rezervinin artırılması için kullanılabilir. Su kaynaklarının etkin yönetimi için su politikalarının da gözden geçirilmesi gerekmektedir. Su kaynakları yöneticileri ve politikacılar, su taleplerinin karşılanmasında yeraltısuyu kaynaklarının önemini daha iyi kavramalıdır. Gelecekteki su stratejileri, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilecek ve etkileri en aza indirebilecek çözümlere ihtiyaç duyacaktır. Yeraltısuyu kaynaklarının etkin kullanımını arttırmak için öneriler ayrıca aşağıda özet olarak listelenmiştir:

- Entegre su yönetim kavramının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Yeraltısuyu gözlem noktalarının fazlaştırılması ve gözlem ağının genişletilmesi,
- Çekimlerin ölçüm sistemleri ile kontrol altına alınması,
- Akiferlere beslenimleri arttıracak yöntemlerin geliştirilmesi,
- Yeni yasal düzenlemeler ile kontrolsüz ve izinsiz kuyuların önlenmesi ve aşırı çekimlerin caydırılması,
- Su kayıplarının azaltılması,
- Su arz ve talep dengesinin öngörülmesi ve etkin yönetimi,
- Kirlenmiş su kaynaklarının arıtımı, yeniden kullanımı,
- Kurumlar arası koordinasyonun iyileştirilmesi,
- Halkın bu konularda bilinçlendirilmesi ve karar mekanizmalarına katılımlarının sağlanması.

İklim değişikliğinin yeraltısuyu sistemlerini nasıl etkileyebileceğini anlamak, su kaynaklarının sağlam ve uzun vadeli yönetiminin hayati bir bileşenidir. Ancak, iklim değişikliğinin yeraltısuyu sistemlerini nasıl etkileyebileceğini tahmin etmek gelecekteki iklim tahminlerindeki belirsizlikler ve yeraltısuyu beslenmesini, deşarjını ve kalitesini etkileyen karmaşık süreç kombinasyonları nedeniyle zordur. İklim ve yeraltısuyunun ortak davranışları konusundaki anlayışı geliştirmek için meteorolojik ve hidrolojik veriye odaklı araştırmalar yoluyla sorunları önceden belirlemeye çalışmak gerekir. Bölgesel ve kıtasal ölçeklerde veri analizi ve yönetimi, uzaktan algılama ve modellemedeki ilerlemeler belirsizlikleri azaltarak nihayetinde sürdürülebilir, sorumlu yönetim ve bilinçli planlama için umut vericidir. Bu analizler sonucunda geliştirilen uyum stratejileri mevcut politikalara entegre edilerek yeraltısuyu kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi sağlanabilir. Hızla değişen iklime uyum sağlayabilmek için bu çalışmaların da hız kazanması gerekmektedir.

## 7. Kaynaklar / References

- Alcamo, J., Henrichs, T., & Rosch, T. (2000). World water in 2025. *World water series report*, 2.
- Alley, W. M. (2001). Ground water and climate. *Ground Water*, 39(2), 161-169.
- Amanambu, A. C., Obarein, O. A., Mossa, J., Li, L., Ayeni, S. S., Balogun, O., ... & Ochege, F. U. (2020). Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. *Journal of Hydrology*, 589, 125163.
- Apaydin, A. (2010). Response of groundwater to climate variation: Fluctuations of groundwater level and well yields in the Halacli aquifer (Cankiri, Türkiye). *Environmental Monitoring and Assessment*, 165(1-4), 653-663. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0976-8>
- Arkoc, O. (2022). Modeling of spatiotemporal variations of groundwater levels using different interpolation methods with the aid of GIS, case study from Ergene Basin, Türkiye. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1), 967-976. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01083-x>
- Bates, B., Kundzewicz, Z., & Wu, S. (2008). Climate change and water. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.
- Cakmak, B., Unver, I. O., & Akuzum, T. (2004). Agricultural water use in Türkiye. *Water international*, 29(2), 257-264.
- Caló, F., Notti, D., Galve, J., Abdikan, S., Görüm, T., Pepe, A., & Balik Şanlı, F. (2017). DInSAR-Based Detection of Land Subsidence and Correlation with Groundwater Depletion in Konya Plain, Türkiye. *Remote Sensing*, 9(1), 83. <https://doi.org/10.3390/rs9010083>
- Chambel, A. (2015). The role of groundwater in the management of water resources in the World. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 366, 107-108.
- Cuthbert, M. O., Gleeson, T., Moosdorf, N., Befus, K. M., Schneider, A., Hartmann, J., & Lehner, B. (2019). Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions. *Nature Climate Change*, 9(2), 137-141. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0386-4>

- Çelik, R. (2015). Temporal changes in the groundwater level in the Upper Tigris Basin, Türkiye, determined by a GIS technique. *Journal of African Earth Sciences*, 107, 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.004>
- Döll, P. (2009). Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. *Environmental Research Letters*, 4(3), 035006.
- Döll, P., & Fiedler, K. (2008). Global-scale modeling of groundwater recharge. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(3), 863-885.
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989, November). Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development. In *Natural resources forum* (Vol. 13, No. 4, pp. 258-267). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Franssen, H. J. H. (2009). The impact of climate change on groundwater resources. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.
- Frappart, F., & Ramillien, G. (2018). Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission: A review. In *Remote Sensing* (Vol. 10, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs10060829>
- Galeotti, M. (2020). The Economic Impacts of Climate Change in the Mediterranean. *Mediterranean Yearbook (IEMed)*.
- Gleeson, T., VanderSteen, J., Sophocleous, M. A., Taniguchi, M., Alley, W. M., Allen, D. M., & Zhou, Y. (2010). Groundwater sustainability strategies. *Nature Geoscience*, 3(6), 378-379.
- Holman, I. P. (2006). Climate change impacts on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward?. *Hydrogeology journal*, 14(5), 637-647.
- IPCC (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jakemann, A., Randall, O., Hunt, J., & Andrewross, J.-D. (n.d.). *Integrated Groundwater Management Concepts, Approaches and Challenges*.
- Kumar, C. P. (2012). Climate Change and Its Impact on Groundwater Resources. In *RESEARCH INVENTY: International Journal of Engineering and Science* (Vol. 1, Issue 5). [www.researchinventory.com](http://www.researchinventory.com)
- Lenk, O. (2013). Satellite based estimates of terrestrial water storage variations in Türkiye. *Journal of Geodynamics*, 67, 106–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.04.010>

- Loaiciga, H. A., Valdes, J. B., Vogel, R., Garvey, J., & Schwarz, H. (1996). Global warming and the hydrologic cycle. *Journal of Hydrology*, 174(1-2), 83-127.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2013). Akçakaya A, Eskioğlu O, Atay H, Demir Ö. (eds) Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. Published online 2013:149. [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/IKLIM\\_DEGISIKLIGI\\_PROJEKSİYONLARI.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/IKLIM_DEGISIKLIGI_PROJEKSİYONLARI.pdf)
- Milly, P. C., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347-350.
- NASA, <https://nasagrace.unl.edu/>, Son Erişim Tarihi: 10 Ekim 2022.
- Okkonen, J., Jyrkama, M., & Kløve, B. (2010). A conceptual approach for assessing the impact of climate change on groundwater and related surface waters in cold regions (Finland). *Hydrogeology Journal*, 18(2), 429-439.
- Patil, N. S., Chetan, N. L., Nataraja, M., & Suthar, S. (2020). Climate change scenarios and its effect on groundwater level in the Hiranyakeshi watershed. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100323. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.100323>
- Shiklomanov, I. A. and Rodda, J. 2003. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Sophocleous, M. (2004). Global and regional water availability and demand: prospects for the future. *Natural Resources Research*, 13(2), 61-75.
- Sowers, J., Vengosh, A., & Weinthal, E. (2011). Climate change, water resources, and the politics of adaptation in the Middle East and North Africa. *Climatic Change*, 104(3), 599-627.
- Şimşek, C., Demirkesen, A. C., Baba, A., Kumanhoğlu, A., Durukan, S., Aksoy, N., Demirkıran, Z., Hasözbeğ, A., Murathan, A., & Tayfur, G. (2020). Estimation groundwater total recharge and discharge using GIS-integrated water level fluctuation method: a case study from the Alaşehir alluvial aquifer Western Anatolia, Türkiye. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3), 143. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5062-0>
- Tayanç, M., Im, U., Doğruel, M., & Karaca, M. (2009). Climate change in Türkiye for the last half century. *Clim Change*, 94(3-4), 483-502. doi:10.1007/s10584-008-9511-0
- Thampi, S. G., & Raneesh, K. Y. (2012). Impact of anticipated climate change on direct groundwater recharge in a humid tropical basin based on a simple conceptual model. *Hydrological Processes*, 26(11), 1655-1671.
- Tirol, N. & Baba, A. (2023). Evaluation of GIS Based Spatial Interpolation Methods For Groundwater Level: Case Study of Türkiye, Water Environment Research (inceleme).
- Trenberth, K. E., Moore, B., Karl, T. R., & Nobre, C. (2006). Monitoring and prediction of the Earth's climate: A future perspective. *Journal of climate*, 19(20), 5001-5008.
- Türkeş M. (2012). Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32. doi:10.1501/csaum\_0000000063
- Türkeş M, Sümer, U.M. & Kılıç, G. (1995). Variations and trends in annual mean air temperatures in Türkiye with respect to climatic variability. *Int J Climatol* 15, 557–569.

- United Nations, The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris.
- URL-1, (2008). BGR/UNESCO (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). WHYMAP. Groundwater Resources of the World. Map at scale 1: 25 000 000. Hannover/Paris. [www.whymap.org/whymap/EN/Maps\\_Data/maps\\_data\\_node\\_en.html;jsessionid=66DD893882B11D6409B9BA3C76B2F141.2\\_cid292](http://www.whymap.org/whymap/EN/Maps_Data/maps_data_node_en.html;jsessionid=66DD893882B11D6409B9BA3C76B2F141.2_cid292) Erişim tarihi: 20.10.2022
- URL-2, (2020). DSI (State Hydraulic Works). <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1344> Erişim tarihi: 28.09.2022
- URL-3, (2022). Koçbay, A. Türkiye’de Yer altı Suyu Yönetimi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. [https://www.youtube.com/watch?v=YhVNx-Cm\\_hw](https://www.youtube.com/watch?v=YhVNx-Cm_hw) Erişim tarihi: 01.05.2022
- URL-4, (2022). World Resources Institute, Aqueduct, <https://www.wri.org/aqueduct>. Erişim tarihi : 09.10.2022
- Uyan, M., & Cay, T. (2013). Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling. *Environmental and Ecological Statistics*, 20(4), 633–646. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.14076>
- Wada Y., Beek L.P.H., Kempen C.M., Reckman J.W.T.M., Vasak S., Bierkens M.F.P. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophys Res Lett*, 37(20), L20402. doi:10.1029/2010gl044571
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, S., Shao, J., Cui, Y., Zhang, Q., & Niu, Y. (2016). Geostatistical interpolation model selection based on ArcGIS and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China. *SpringerPlus*, 5(1), 425. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2073-0>
- Yagbasan, O. (2016). Impacts of climate change on groundwater recharge in Küçük Menderes River Basin in Western Türkiye. *Geodinamica Acta*, 28(3), 209–222. <https://doi.org/10.1080/09853111.2015.1121802>



## **Yazarlar Hakkında / About Authors**

**Prof. Dr. Alper BABA | İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü | alperbaba[at]iyte.edu.tr | ORCID: 0000-0001-5307-3156**

1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Lisansını, 1995 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisansını, 2000 yılında ise aynı üniversitede doktora eğitimini tamamladı. 2001 yılında Yardımcı Doçent Doktor, 2006 yılında ise Doçent Doktor olarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Müh-Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümünde görev yaptı. 2003 yılında Birleşmiş Milletler Üniversitesi (İzlanda), Jeotermal Enerji Programında ve 2005 yılında Wayne State Üniversitesi (USA), İnşaat ve Çevre Müh. Bölümü araştırmacı olarak bulundu. 2009-2013 yılları arasında ise İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak görev aldı. 2012 yılında Toronto Üniversitesi (Kanada), Çevre Bilimleri Bölümünde misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 2012-2013 yıllarında İzmir Ekonomi Üniversitesi, Sürdürülebilir Enerji Bölümünde yarı zamanlı öğretim üyesi olarak görev yaptı. 2013 yılından bu yana, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Profesör Doktor olarak çalışmaktadır. Dr. Baba 2004 yılında, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası tarafından verilen Altın Çekiç Araştırma Ödülünü (Uygulamalı Jeoloji Dalında), 2004, 2005, 2021 ve 2022 yıllarında ise TÜBİTAK tarafından verilen AB Altıncı Çerçeve Programı Proje Önerisi Özendirme Ödülü ve 2007 yılında TÜBA-GEBİP ödülleri aldı. Dr. Baba'nın Uluslararası Atıf Endeksleri kapsamındaki dergilerde basılmış çok sayıda yayını, uluslararası dergilerde basılmış ve konferanslarda sunulmuş 100'ün üzerine makalesi ve ulusal dergilerde sunulmuş ve basılmış 100 üzerinde bildirisi vardır. Bunlardan başka editörlüğünü yaptığı üç adet uluslararası kitabı ve uluslararası on kitapta birer bölümü bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Alper BABA | Izmir Institute of Technology | alperbaba[at]iyte.edu.tr | ORCID: 0000-0001-5307-3156**

Dr. Alper Baba holds BSc in Geological Engineering in 1992 and MSc in Applied Geology from the Institute of Natural and Applied Sciences at Dokuz Eylul University in 1995, and his doctorate in 2000 at the same university. He became an Assistant Professor in 2001 and an Associate Professor in 2006 at Çanakkale Onsekiz Mart University. He graduated from United Nations University (Iceland), Geothermal Energy Program in 2003, and work as a researcher in Civil and Environmental Eng. at Wayne State University (USA) in 2005. In 2012, he was a visiting professor at the Department of Environmental Sciences at the University of Toronto (Canada). Also, he worked as a part-time lecturer in the Department of Sustainable Energy at Izmir University of Economics from 2012 to 2013. He has worked as a professor in the Department of Civil Engineering at Izmir Institute of Technology since 2009. Dr. Baba was awarded the "Successful Young Scientists Award" of the Turkish Academy of Science and the Turkish Geological Engineering Association "Gold Medal Award". Also, he received the EU Sixth Framework Program Project Proposal Encouragement Award given by TUBITAK in 2004, 2005, 2021, and 2022. Apart from these, Dr. Baba is the author of more than a hundred peer-reviewed scientific publications and contributions to international conferences and is an editor of three international books and ten chapters in international books.

**Arş. Gör. Nilüfer TİROL | İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü |  
nilufertirol[at]iyte.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0239-1677**

Nilüfer Tirol lisans eğitimini 2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans eğitimini ise 2017 yılında yine aynı üniversitenin Çevre Bilimleri ve Mühendisliği lisansüstü programında tamamlamıştır. Yüksek lisans tezinde atıksuların arıtılması ve membran biyoreaktörler konusunda çalışmalar yapmıştır. İki yıllık özel sektör deneyimi sonrası doktora eğitimine devam etmek isteyerek 2019 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Çevre Bilimleri ve Mühendisliği doktora programına kabul almıştır. 2021 yılından itibaren ise Çevre Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev almaktadır. Şu anki çalışma alanları arasında iklim değişikliği, kentsel su dengesi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, coğrafi bilgi sistemleri, iklim değişikliğine adaptasyon yöntemleri sayılabilir.

**Res. Asst. Nilüfer TİROL | Izmir Institute of Technology |  
nilufertirol[at]iyte.edu.tr | ORCID: 0000-0003-0239-1677**

Nilüfer Tirol completed her bachelor of science at Istanbul Technical University (ITU), Environmental Engineering Department in 2015. She completed her master's degree in the Environmental Sciences and Engineering program at the same university in 2017. She worked on wastewater treatment and membrane bioreactors in her master's thesis. In 2019, after two years of sectoral experience, she wanted to continue her doctoral education and was accepted to the Izmir Institute of Technology (IZTECH), Environmental Sciences and Engineering program. Nilüfer has been working as a research assistant in the IZTECH, Department of Environmental Engineering since 2021. Her current areas of work include climate change, urban water balance, sustainable management of water resources, geographic information systems, and climate change adaptation methods.