



SU'ya Dair Her Şey

SU, “tüm canlılar için vazgeçilmez yaşamsal bir kaynaktır” cümlesiyle başlar su ile ilgili bütün yazılar. Susuz bir yaşam düşünülemez elbette. Yaşamımızı sürdürebilmek için doğrudan vücudumuza aldığımız su dışında, yiyeceklerimizin yetiştirilmesinden soframıza gelmesine kadar her aşamada suya gerek vardır. Evcil hayvanınızın, saksınızdaki çiçeğinizin, üzerinde uzanmak istediğiniz çimlerin, dalından elma kopardığınız ağacın da yaşam kaynağıdır aynı zamanda su. Kirlenen elinizi, çamurlanan ayağınızı, tozlanan evinizi temizlemek için de gereklidir su. Bir yorgunluk kahvesi de suyu gerektirir. Bu sebeptir ki yüzyıllar boyunca bütün büyük uygarlıklar su kenarında kurulmuştur.

Fatma Gültekin
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
fatma@ktu.edu.tr

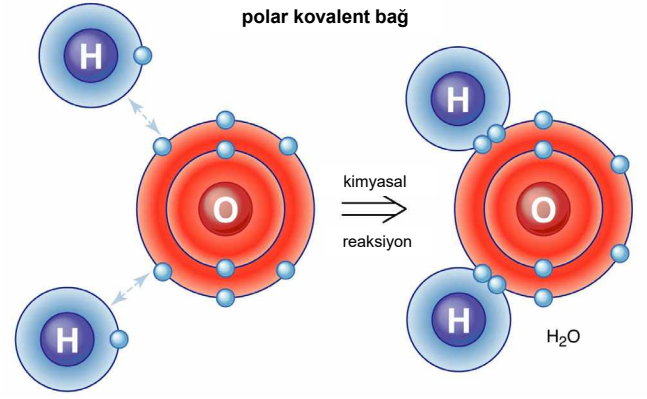
Dünya nüfusu özellikle son yıllarda hızla artarken Dünya üzerindeki tatlı su miktarı sabit kalmaktadır. Sanayi tesislerinin sayısının ve çeşitlerinin artması ile endüstriyel su tüketim miktarları da büyük oranda artış göstermektedir. Sınırlı olan tatlı su kaynakları, üzerindeki artan su talebi baskısına ek olarak tarımsal, endüstriyel ve evsel atık suların tehdidi altındadır. Su kaynaklarının zaman ve konuma göre talep edilen miktar ve kalitede bulunmaması, mevcut su kaynaklarının ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar içinde en verimli şekilde kullanımını gerektirmektedir. Bazı tahminler, 2025 yılından itibaren 3 mil-

yardan fazla insanın su kıtlığı ile yüz yüze geleceğini göstermektedir [1]. Bu nedenle su ile ilgili ilk çalışmalar yer kabuğunda suyun nerede, ne şekilde, hangi miktarda ve hangi kalitede olduğunu araştırmaya yönelik iken son yıllarda su kaynaklarının kalite açısından korunması ve sürdürülebilir kullanımına yönelmiştir.

Temiz suya sahip olmak bireysel sağlığımız, kolektif tarımsal ihtiyaçlarımız ve çevremizin ihtiyaçları açısından hayati öneme sahiptir. Tüm yaşamın temelidir ve sanitasyon, insan hakları, kentleşme, sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme vb. açısından önemlidir. Bu nedenle bu yazıda suyun varoluşu, özellikleri, dağılımı, kullanım alanları ve korunması gibi su ile ilgili konulara değinilmiştir.

Suyun Kimyası

Dünya üzerinde bol miktarda bulunan su, kokusuz ve tatsız kimyasal bir bileşiktir [2]. Su molekülü, her biri tek bir kimyasal bağla bir oksijen atomuna bağlanan iki hidrojen atomundan oluşur (Şekil 1). Su molekülü doğrusal olmayıp özel bir şekilde bükülmüştür. İki hidrojen atomu oksijen atomuna 104,5° açıyla bağlanır. Bir oksijen atomu, hidrojen atomundan daha büyük bir elektronegatifliğe sahip olduğundan, su molekülündeki O-H bağları polardır ve oksijen kısmi negatif yüke ve hidrojenler kısmi pozitif yüke sahiptir. Oda sıcaklığında sıvı olan su, diğer birçok maddeyi çözme konusunda önemli bir yeteneğe sahiptir. Her ne kadar su molekülleri yapı olarak basit (H₂O) olsa da bileşiğin fiziksel ve kimyasal özellikleri olağanüstü derecede karmaşıktır. Örneğin, erime noktası olan 0°C (32°F) ve kaynama noktası olan 100°C (212°F) iken hidrojen sülfid ve amonyak gibi benzer bileşiklerle karşılaştırıldığında beklenenden çok daha yüksektir. Katı haldeki buz suyun yoğunluğu, sıvı haline göre daha azdır, bu da başka bir sıra dışı özelliktir. Sıklıkla renksiz olarak tanımlanmasına rağmen kızıl dalga boylarında ışığı hafifçe emmesi nedeniyle mavi bir renge sahiptir [2]. Bu anormalliklerin kökeni su molekülünün elektronik yapısından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1. Oksijen atomuna 104,5 derecelik açıyla bağlanan iki hidrojen atomu ve hidrojen ve oksijen atomlarının yüklerini gösteren su molekülünün yapısı.

Su molekülünün polaritesi, sulu çözeltilerin oluşumu sırasında iyonik bileşiklerin çözünmesinde önemli bir rol oynar. Dünyadaki okyanuslar, harika bir doğal kaynak sağlayan çok miktarda çözünmüş tuz içerir. Ayrıca organizmaların hayatta kalabilmesi için her an gerçekleşen yüzlerce kimyasal reaksiyonun tamamı sulu sıvılarda gerçekleşmektedir. Yine yiyeceklerin pişirildikçe tat alması, şeker ve tuz gibi maddelerin suda çözünmesiyle mümkün olmaktadır. Maddelerin sudaki çözünürlüğü son derece karmaşık bir süreç olmasına rağmen, polar su molekülleri ile çözünen madde (yani çözünen madde) arasındaki etkileşim önemli bir rol oynar. İyonik bir katı suda çözüldüğünde, su moleküllerinin pozitif uçları anyonlara, negatif uçları ise katyonlara çekilir. Bu işleme hidrasyon denir. İyonlarının hidrasyonu, tuzun suda parçalanmasına (çözünmesine) neden olma eğilimindedir. Çözünme sürecinde katının pozitif ve negatif iyonları arasındaki güçlü kuvvetlerin yerini güçlü su-iyon etkileşimleri alır.

Dünyadaki Suyun Kaynağı

Peki, Dünya üzerinde bol miktarda bulunan bu su ilk nasıl oluştu?

Dünyanın suyunu nasıl elde ettiğine dair çok sayıda teori vardır. Bu teoriler genel olarak iki kategoriye ayrılır: (i) Dünya, suyun moleküler öncülleriyle birlikte doğmuştur, (ii) asteroitler ve kuyruklu yıldızlar gibi su yüklü uzay kayaları, gezegenin oluşumundan sonra buraya su getirmiştir [3]. Bu teorilerin birçoğu birbiriyle uyumludur. Bu da Dünya'nın suyunu birden fazla kaynaktan almış olabileceği anlamına gelir. Bu konuda bilim in-

sanları, Güneş Sistemi'nin ilk dönemlerinde neler olduğuna ve Dünya'nın suyunu nasıl elde ettiğine ilişkin modelleri sürekli olarak geliştirmektedir. Son araştırmalar, okyanusların oluşumunda Dünya'nın içindeki hidrojenin rol oynadığını göstermektedir [4]. Suyun Dünya'ya, asteroid kuşağının dış kenarlarındaki asteroitlere benzer bileşimdeki buzlu gezegenlerin çarpmasıyla ulaştığına dair kanıtlar da bulunmaktadır [5]. 2020'de araştırmacılar, gezegenin oluşumunun başlangıcından beri Dünya'da okyanusları doldurmaya yetecek kadar suyun bulunabileceğini ifade etmişlerdir [6, 7, 8]. Bilinen tüm yaşam formları için gerekli olan sıvı su, gezegenin Güneş'ten suyunu kaybetmeyecek kadar uzakta olması nedeniyle Dünya yüzeyinde varlığını sürdürmektedir.

Su Döngüsü

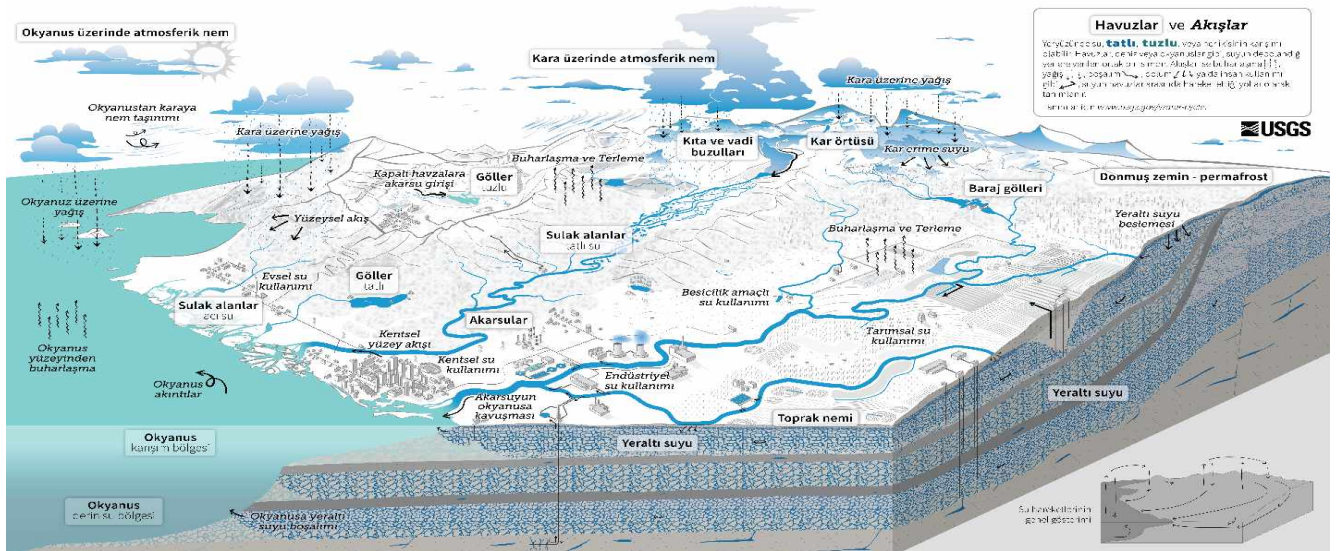
SU, doğada yer kabuğu ile atmosfer arasında devamlı hareket halindedir (Şekil 2). "Su döngüsü" ya da "hidrolojik döngü" denilen bu olay, suyun okyanus-denizlerden atmosfere, atmosferden yeryüzüne, yeniden okyanus-denizlere ulaşması şeklinde genel bir tur olup, bu döngünün bir başlangıcı veya sonu yoktur.

Su, nehirden okyanusa veya okyanustan atmosfere gibi bir rezervuardan diğerine, buhar-

laşma, yoğunlaşma, yağış, sızma, yüzey akışı ve yüzey altı akışının fiziksel süreçleriyle hareket eder. Bunu yaparken su, sıvı, katı (buz) ve buhar gibi farklı formlardan geçer (Şekil 2).

Su döngüsü aynı zamanda Dünya'da suyun nelerde bulunduğunu ve nasıl hareket ettiğini tarif eder. Su, atmosferde, yerin yüzeyinde ve altında depolanır. Akışlar suyu havuzlar arasında hareket ettirir. Dolaşım, suyun deniz ve okyanuslarda çevrimini sağlarken su buharının atmosfere iletimini de sağlar. Su, atmosfer ve kara-deniz ara yüzeyinde buharlaşma, terleme ve yağış ile hareket eder. Kara yüzeyinde yeraltı hareketi kar erimesi, yüzey akışı ve akarsu akışı ile sağlanır. Suyun yeraltına hareketi, sızma ve yeraltı-suyu beslemesi ile gerçekleşir. Yeraltısu, akiferler içerisinde hareket eder ve yüzeye ve çevrime dönüşü ise doğal yollardan denize, nehirlere ve pınarlara deşarjı ile gerçekleşir.

Su döngüsü, sıcaklık değişimlerine yol açan enerji değişimini içerir. Su buharlaştığında, çevresinden enerji alır ve çevreyi soğutur. Yoğunlaş- tığında, enerjiyi serbest bırakır ve çevreyi ısıtır. Bu ısı değişimleri iklimi etkiler. Döngünün buharlaş- ma aşaması suyu arındırır ve daha sonra toprağı tatlı su ile doldurur. Sıvı su ve buz akışı dünyadaki mineralleri taşır. Ayrıca, erozyon ve sedimantas-



Su döngüsü

Su döngüsü, Dünya'da suyun sürekli olarak bolca bulunduğu ve nasıl hareket ettiği hakkında, su, atmosferde, yerin yüzeyinde ve altında depolanır. Sıvı, katı ve gaz halinde bulunabilir. Sıvı haldeki su, tolu, buhar ve dağınık olarak su döngüsüne katılır. Su, buhar veya katı halde atmosferde yerel olarak damlatılır. Nereye ait bir su, diğer su ile karışır ve insan etkisiyle hareket eder. İncin su talimatı suyun depolanması ve biriktirilmesi, nasıl hareket ettiğini ve ne kadar sıcak olduğunu etkilemektedir.

Havuzlar suyu depolayan alanlardır. Suyun %96'si okyanus ve denizlerde depolanır ve burulur. Karalarda tuzlu su, tuzlu göllerde bulunur. Sıvı haldeki katı su, **tatlı su gölleri**ne, **yağış rezervuarlarında** yani **baraj gölleri**nde, **akarsularda** ve **sulak alanlarda** depolanır. Donmuş su, buhar halinde su, kumlanabilir **buzullar**da **kar örtüsünde** ve yüksek dağ kuzaklarında toplanır. Su, buhar ve katı su olarak dağlar ve dağların çevresi bölgesinde **kar örtüsünde** olarak saklanır. Su buharın bir kısmı ve denizler karların üzerinde **atmosferde** nem olarak bulunabilir. Toprak içerisinde su, donmuş halde **permafrost** alanlarında ve su buharı ile **toprak nemli** olarak bulunur. Yerin deşim derinliklerinde tuzsuz su kayalarının çıkarılmasıyla elde edilen tuzsuz akiferler içinde **yeraltı suyu** olarak depolanır.

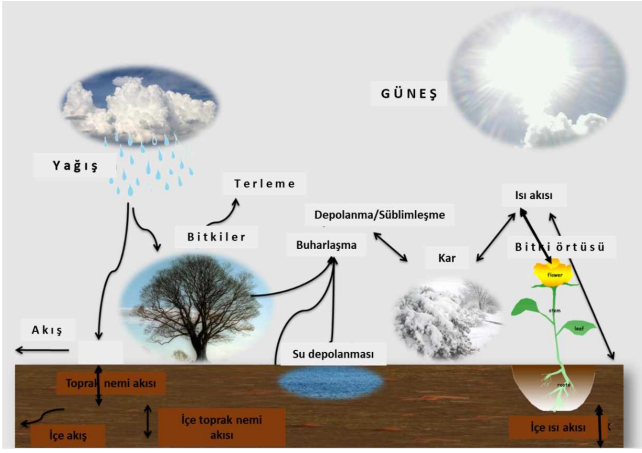
Akarsular suyu havuzları arasında hareket ettirir. Su hareket ettirilebilirken, sıvı ve gaz halinde önüne geçebilir. **Dolaşım**, suyun deniz ve okyanuslara çevrimini sağlarken su buharının atmosfere hareketini sağlar. Su, atmosferde kara-deniz ara yüzeyinde buharlaşma, terleme ve yağış ile hareket eder. Kara yüzeyinde suyun hareketi **kar erimesi**, **yağış akışı** ve **akarsu akışı** ile sağlanır. Suyun yeraltına hareketi, **sızma** ve **yeraltı suyu beslemesi** ile gerçekleşir. Yeraltı suyu akiferler içerisinde hareket eder. Yeraltı suyu suyunu çevreye ve çevrime dönüşü ise doğal yollardan denize, nehirlere ve pınarlara deşarjı ile gerçekleşir.

Buzlar da suyunu depolamaktadır. Nehirlerin yönlerini değiştirirler. Su depolanması için barajlar yaparlar. İncin ve yeraltı suyu kuzakları için sulak alanları kurabilirler. Nehir gölleri, rezervuarlar ve yeraltı suyu akiferleri, suyun **depolanması** ve **toplanmasını** beslemesi için kullanılır. **Tarımsal ve besicilik amaçlı** sulamada kullanılır. **Endüstriyel** olarak da elektrik üretiminde, masce ve tuz suyu üreten yeraltı suyu kullanılır. Üstün kaliteli su, her hava da ne kadar su olduğuna (su miktarı) bağlıdır. Ayrıca suyun ne zaman ve ne kadar hızlı hareket ettiğine (dezenajlanma), ne kadar su kullanıldığına (su kullanımı) ve suyun ne kadar temiz olduğuna (su kalitesi) bağlıdır.

İncin faaliyetleri su kalitesini etkiler. Tuz ve şeker alanlarında gübrenin tarımsal ilaçların kullanılması ve yağış ile sızma ve yeraltı suyu beslemesi. Enerji santralleri ve barajlar için suyunu kullanır ve kaliteli suyu nehirlere gönderir. Yeryüzü akiferleri, göller, akarsular ve suyunu, akiferler ile göllere taşır. Bu kayaların akiferleri olan alanlarda sızma ve yeraltı suyu beslemesi için kullanılır. Su, barajlar, rezervuarlar ve diğer yapılarla beslenir. Su, barajlar, rezervuarlar ve diğer yapılarla beslenir. Su, barajlar, rezervuarlar ve diğer yapılarla beslenir. Su, barajlar, rezervuarlar ve diğer yapılarla beslenir.

Şekil 2. Su döngüsü [9].

yon gibi süreçlerle Dünya'nın jeolojik özelliklerinin yeniden şekillendirilmesinde rol oynar. Yeryüzündeki su kaynaklarını okyanuslar, denizler, göller ve yeraltı suları oluşturur. Dünya'daki su hareket eder, biçim değiştirir, bitkiler ve hayvanlar tarafından kullanılır, fakat gerçekte asla yok olmaz. Su döngüsü, yağış, buharlaşma-terleme (Evapotranspirasyon), yer üstü ve yer altı akışları olmak üzere üç temel aşamayı içerir (Şekil 3).



Şekil 3. Su döngüsünün ana bileşenleri [10], [11].

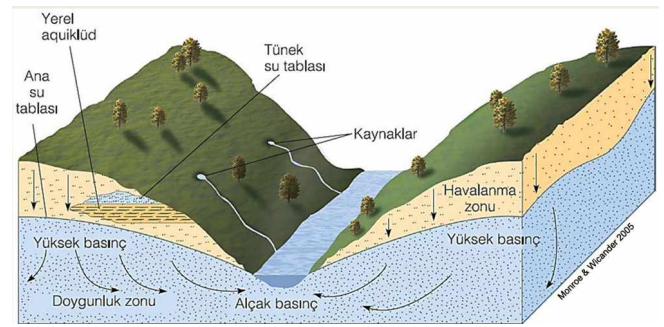
Yağış, Dünya yüzeyine düşen yoğunlaşmış su buharıdır. Yağışların çoğu yağmur olarak görülür, ancak kar, dolu, sis damlası ve karla karışık yağmur şeklinde de görülebilir [12]. Her yıl yaklaşık 505.000 km³ su yağış olarak yeryüzüne düşmektedir. Bunun 398.000 km³ okyanuslar, 107.000 km³'ü karalar üzerine düşerken, yılda sadece 1.000 km³ kar yağışı gerçekleşir [13]. Küresel yağışların %78'i okyanus üzerinde gerçekleşmektedir [14].

Buharlaşma, suyun yeryüzünden veya su kütlelerinden üstteki atmosfere geçerken sıvının gaz fazlarına dönüşümüdür [15]. Buharlaşma için enerji kaynağı öncelikle güneş ışınımıdır. Okyanuslar, göller ve nehirlerdeki su kütleleri ısındıkça buharlaşmakta ve su buharı olarak atmosfere doğru yükselmektedir. Aynı zamanda bitkiler ve ağaçlar, yapraklarından su kaybetmekte ve bu suyu buhar halinde atmosfere salmaktadır. Bu olay terleme olarak adlandırılmakta ve buharlaşma ile birlikte yeryüzünden kayıp olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) olarak adlan-

dırılmaktadır. Toplam yıllık evapotranspirasyon yaklaşık 505.000 km³ sudur ve bunun 434.000 km³ okyanuslardan buharlaşmaktadır [12]. Küresel buharlaşmanın %86'sı okyanuslar üzerinde gerçekleşmektedir [13].

Yüzey akışı, suyun karadaki hareketini temsil etmekte ve hem yüzey akışını hem de kanal akışını içermektedir. Akarken, su toprağa sızabilir, havaya buharlaşabilir, göllerde veya rezervuarlarda depolanabilir veya tarımsal veya diğer insan ihtiyaçları için kullanılabilir.

Yeraltı akışı, vadoz (havalandırma) bölgede ve akiferlerde yeraltı su akışı olarak tanımlanmaktadır. Yeraltı suyunun aşağı yönlü hareketi için gereken enerji yerçekimi ile sağlanmaktadır. Yeraltına giren su havalanma kuşağından doygunluk kuşağına doğru hareket eder. Süzülen sular yeraltı su tablasına ulaştığında, su tablasının yüksekte olduğu alanlardan daha alçakta olduğu ırmaklar, göller ya da bataklıklar gibi yerlere doğru hareketini sürdürür. Sadece süzülen suyun bir kısmı doğrudan su tablasının eğimini izler. Çoğu ise düşey yönde büyük kavisli yollar olarak ırmağa, göle ya da bataklığa katılırlar. Bunun nedeni ise doygunluk kuşağı içindeki yeraltı suyunun yüksek basınçlı alanlardan düşük basınçlılara doğru hareket etmesidir (Şekil 4). Yeraltı suyu yavaş hareket etme eğilimindedir ve yavaşça yenilenir, böylece binlerce yıl akiferlerde kalabilir. Yeraltı suyunun hızı birçok faktöre bağlı olarak büyük oranda değişir. Bu hız oldukça geçirimli bazı malzemelerde 250 m/gün ile hemen hemen geçirimsiz malzemelerde birkaç cm/yıl arasında çeşitlilik gösterir. Birçok sıradan akifer için ortalama yeraltı suyu hızı birkaç cm/gün olarak ölçülmüştür.

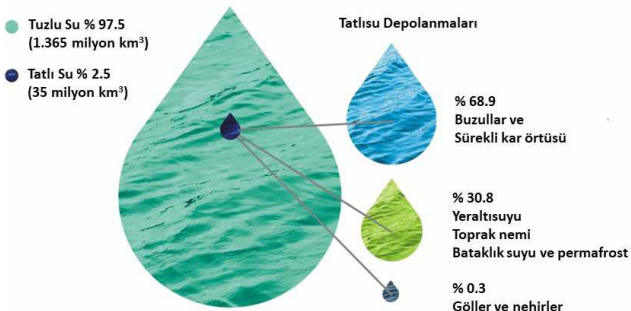


Şekil 4. Vadoz (havalandırma) bölgede ve akiferlerde yeraltı su akışı [16].

Dünyadaki Su Miktarları

Dünya yüzeyinin çoğunluğu okyanuslarla kaplı olsa da, bu okyanuslar gezegenin kütesinin yalnızca küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Dünya okyanuslarının kütesinin $1,37 \times 10^{21}$ kg olduğu tahmin edilmektedir [17]. Bu değer Dünya'nın toplam kütesinin ($6,0 \times 10^{24}$ kg) %0,023'üne karşılık gelmektedir. Buzullarda, göllerde, nehirlerde, yeraltı suyunda ve atmosferik su buharında ilave $5,0 \times 10^{20}$ kg suyun mevcut olduğu tahmin edilmektedir [17]. Ayrıca Dünya'nın kabuğunda, mantosunda ve çekirdeğinde de önemli miktarda su depolanmaktadır. Yüzeyde bulunan moleküler H_2O 'nun aksine, iç kısımdaki su, esas olarak hidratlı mineraller halinde veya susuz minerallerdeki oksijen atomlarına bağlı eser miktarda hidrojen olarak bulunmaktadır [18]. Yüzeydeki hidratlı silikatlar, okyanus kabuğunun kıtasal kabuğun altına daldığı yakınsak plaka sınırlarındaki mantoya su taşımaktadır. Sınırlı örnekler nedeniyle mantonun toplam su içeriğini tahmin etmek zor olsa da Dünya okyanuslarının kütesinin yaklaşık üç katı burada depolanmış olabileceği ifade edilmektedir [18].

Su döngüsünden geçmekte olandan çok daha fazla su "depodadır". Dünyadaki tüm suyun büyük çoğunluğunun depoları okyanuslardır. Hidrosferde mevcut toplam suyun %97.5'i tuzlu su, %2.5'i ise tatlı sularından oluşmaktadır (Şekil 5). Tatlı su depolanmalarının %68.9'u buzullar ve sürekli kar kütlelerini, %30.8'i yeraltı suyu, toprak nemi ve bataklık sularını, % 0.3'ü ise göl ve nehirleri oluşturmaktadır (Şekil 5). Dünyadaki toplam su miktarının ($1.386.000.000 \text{ km}^3$), yaklaşık $1.338.000.000 \text{ km}^3$ 'ün okyanuslarda depolandığı tahmin edilmektedir [20] (Tablo 1). Okyanusların su döngüsüne giren buharlaştırılmış suyun yaklaşık %90'ını sağladıkları belirtilmektedir [19].



Şekil 5. Dünyadaki su miktarları [20].

Tablo 1. Dünyada depolanan su hacimleri ve yüzde-leri [20].

	Toplam Su Hacmi (km^3)	Toplam Su %si	Tatlı su %si
Okyanuslar	1,338,000,000	96.5	--
Buzullar ve Sürekli Kar	24,364,000	1.76	69.6
Yeraltı suyu	23,400,000	1.69	--
Tatlı	10,530,000	0.76	30.1
Tuzlu	12,870,000	0.93	--
Toprak Nemi	16,500	0.0012	0.047
Donmuş toprak ve Permafrost	300,000	0.022	0.86
Göller	176,400	0.013	--
Tatlı	91,000	0.007	0.26
Tuzlu	85,400	0.006	--
Atmosfer	12,900	0.001	0.037
Bataklıklar	11,470	0.00083	0.033
Nehirler	2,120	0.00015	0.0061
Biyolojik su	1,120	0.0001	0.003

Su Kullanımı- Su Tüketimi

"Su kullanımı", kullanılmak üzere kaynağından çekilen toplam su miktarını ifade etmektedir. Su kullanımına ilişkin ölçümler endüstriyel, tarımsal ve evsel kullanıcılardan gelen talep düzeyinin değerlendirilmesine yardımcı olur. Örneğin bir üretim tesisi, ekipmanlarını soğutmak, çalıştırmak veya temizlemek için günde 10.000 galon tatlı suya ihtiyaç duyabilir. Tesis bu suyun yüzde 95'ini havzaya geri gönderse bile tesisin çalışması için 10.000 galonun tamamına ihtiyacı var.

"Su tüketimi", su kullanımının, çekildikten sonra orijinal su kaynağına geri verilmeyen kısmıdır. Tüketim, suyun buharlaşma yoluyla atmosfere karışması veya bir ürün veya bitkiye (mısır sapı gibi) karışması ve artık yeniden kullanıma uygun olmaması durumunda meydana gelir. Su tüketimi özellikle su kıtlığı ve insan faaliyetlerinin su mevcudiyeti üzerindeki etkisi analiz edilirken önemlidir. Örneğin, sulı tarım dünya çapında su kullanımının yüzde 70'ini oluşturmaktadır ve bunun neredeyse yüzde 50'si ya atmosfere buharlaşarak ya da bitki yapraklarından geçerek kaybolmaktadır.

Tatlı su kullanımı, tüketen ve tüketmeyen (bazen “yenilenebilir” olarak da adlandırılır) olarak sınıflandırılabilir. Suyun başka bir kullanım için hemen mevcut olmaması durumunda su kullanımı tüketimdir. Bir ürüne (çiftlik ürünleri gibi) katılan su gibi, yüzey altı sızıntı ve buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar da tüketim olarak kabul edilir. Kanalizasyon gibi arıtılıp yüzey suyu olarak geri döndürülebilen su, eğer bu su ilave olarak kullanılabiliyorsa, genellikle tüketilmeyen su olarak kabul edilir.

Suyun Kullanım Alanları

Su doğrudan ve dolaylı amaçlarla kullanılabilir. Doğrudan amaçlar arasında içmek ve yemek pişirmek, banyo yapmak yer alırken, dolaylı

amaçlara örnek olarak ahşabın kağıt yapımında ve otomobiller için çelik üretiminde kullanılması verilebilir. Dünyadaki su kullanımının büyük kısmı tarım, sanayi ve elektrik içindir.

Tarımsal Su Kullanımı

Tarımsal su, nehirler ve akarsular gibi yüzey suyu, kuyular aracılığıyla yeraltı suyu, yağmur suyu ve şehir ve kırsal su gibi belediye su sistemlerinden alınan, taze ürün yetiştirmek ve hayvancılığı sürdürmek için kullanılan sudur (Şekil 6). Pestisit ve gübre uygulamaları, mahsul soğutma (örneğin hafif sulama) ve don kontrolü için de kullanılan su da bu sınıfta yer alır. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırması'na (USGS) göre, sulama için kullanılan su, termoelektrik enerji hariç, dünyada



Şekil 6. Tarımsal amaçlı su kullanım alanları

çekilen tatlı su miktarının yaklaşık yüzde 65'ini oluşturmaktadır [21], [22]. Tarımsal su etkin ve güvenli kullanıldığında üretim ve ürün verimini olumlu yönde etkilenmektedir. Uygulanan suyun azalması üretim ve verimin düşmesine neden olmaktadır. Tarımsal su kullanımını iyileştirmek ve optimum üretim ve verimi sürdürmek için su verimi düşürmeden su kullanım verimliliğini artıran yönetim stratejilerini gerekmektedir. Bu stratejiler su ve enerjinin korunmasına olanak tanır ve yetiştiricinin maliyetlerini azaltır [23].

Dünya çapında su kullanımının %69'unun sulama amaçlı olduğu ve sulamadan çekilenlerin %15-35'inin sürdürülemez olduğu tahmin edilmektedir [22]. Dünyanın bazı bölgelerinde her-

hangi bir mahsulün yetiştirilmesi için mutlaka sulama gerekli iken bazı bölgelerde ise daha karlı mahsullerin yetiştirilmesine olanak veya mahsul verimini arttırmak için sulamaya gerek duyulmaktadır. Bu nedenle mahsul verimi, su tüketimi, ekipman ve yapıların maliyeti arasında farklı dengeleyen sulama yöntemleri tercih edilmelidir (Şekil 6). Karık ve yağmurlama sulama gibi sulama yöntemleri genellikle daha ucuzdur ancak suyun çoğu buharlaştığı, aktığı veya kök bölgesinin altına aktığı için genellikle daha az verimlidir. Daha verimli olduğu düşünülen damlama veya damlama sulama, dalgalanma sulama ve yağmurlama sistemlerinin daha pahalı olmasına rağmen genellikle yüzey akışını, drenajı ve buharlaşmayı en aza indirme konusunda daha büyük potansiyel-



Şekil 7. Endüstriyel uygulamalarda su kullanımı

leri vardır. Su israfına neden olmayacak şekilde uygun koşullar, uygun sulama zamanlaması ve yönetimi yüksek verimlilik sağlamaktadır.

Endüstriyel Su Kullanımı

“Endüstriyel su”, bir ürünün imalatı, işlenmesi, yıkanması, seyreltilmesi, soğutulması veya taşınması için kullanılan suyu ifade etmektedir [24]. Endüstriler, üretim sürecinde ya ürünlerini oluşturmak için ya da ürünlerini oluştururken kullanılan soğutma ekipmanları için su kullanırlar. Su endüstriyel olarak çoğunlukla petrol rafinerileri, kimyasal ürünler, gıda ve kağıt ürünleri üreten endüstriler tarafından kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda su çoğunlukla gıda, kağıt ve kimyasal madde üretmek için kullanılmaktadır (Şekil 7).

Dünya genelinde, yüksek gelirli ülkeler, sularının yüzde 59'unu endüstriyel amaçlar için kullanırken, düşük gelirli ülkeler, endüstriyel su kullanımı için daha düşük miktarlar kullanmaktadır [25]. Küresel ölçekte su kullanımının %22'sinin endüstriyel olduğu tahmin edilmektedir [26]. Başlıca endüstriyel kullanıcılar arasında suyu soğutma veya güç kaynağı olarak kullanan ener-

ji santralleri (örn. hidroelektrik santraller), suyu kimyasal işlemlerde kullanan cevher ve petrol rafinerileri ve suyu solvent olarak kullanan üretim tesisleri bulunmaktadır [26]. Endüstriyel su kullanımının tüketime yönelik kısmı büyük farklılıklar göstermektedir ancak genel olarak tarımsal kullanıma göre daha düşüktür. Endüstriyel birçok uygulama için temiz suya ihtiyaç vardır.

İçme-kullanma

Evsel su kullanımı, bir kamu su tedarikçisi tarafından hanelere sağlanan içilebilir ve içilemez suyu ve kendi kendine tedarik edilen suyu içerir. Kendi kendine sağlanan evsel su kullanımı ise genellikle kuyu gibi özel bir kaynaktan çekilir veya bir sarnıçta yağmur suyu olarak toplanır. Bu su kullanımı, konutlardaki iç ve dış mekan kullanımlarını ifade etmektedir ve içme, yiyecek hazırlama, banyo yapma, çamaşır ve bulaşık yıkama, tuvalet sifonunu çekme, çim ve bahçe sulama ve havuz bakımı gibi kullanımları içermektedir (Şekil 8).

Küresel ölçekte su kullanımının %8'inin ev amaçlı olduğu tahmin edilmektedir [25]. Bunlara içme suyu, banyo yapma, yemek pişirme, sanitas-



Şekil 8. Evsel su kullanım alanları



Şekil 9. Ekosistem için su kullanımı

yon ve bahçe işleri dahildir. Anında veya uzun vadede zarar verme riski olmaksızın tüketilebilecek veya kullanılabilir kadar yüksek kalitede olan suya genel olarak içme suyu denir. Çoğu gelişmiş ülkede, evlere, ticarete ve sanayiye sağlanan suyun tamamı içme suyu standardında olmasına rağmen çok küçük bir kısmı içerek tüketilmekte veya yiyecek hazırlamada kullanılmaktadır.

resel su kullanımı, yapay sulak alanları, yaban hayatı ortamı yaratmayı amaçlayan yapay gölleri, balık merdivenlerini ve balıkların üremesine yardımcı olacak şekilde zamanlanmış rezervuarlardan su salınımlarını içerir (Şekil 9). Çevresel kullanım tüketime yönelik değildir ancak belirli zamanlarda ve yerlerde diğer kullanıcılar için suyun kullanılabilirliğini azaltabilir.

Çevre- Ekosistem Su Kullanımı

Çevresel su kullanımı da toplam su kullanımının çok küçük ama giderek artan bir yüzdesidir. Çev-

Rekreasyon

Eğlence amaçlı su kullanımını içeren bu kullanım genellikle toplam su kullanımının çok küçük



Şekil 10. Rekreasyonel amaçlı su kullanımı

bir bölümünü içerir. Eğlence amaçlı su kullanımı çoğunlukla rezervuarlara bağlıdır. Bir rezervuarın rekreasyon amacıyla olması gerekenden daha dolu tutulması halinde, tutulan su eğlence amaçlı kullanım olarak sınıflandırılabilir. Birkaç rezervuardan suyun salınması hem eğlence amaçlı bir kullanım hem de akarsu kayıkcılığını geliştirmek için kullanılabilir. Balıkçılar, su kayağı yapanlar, doğa tutkunları ve yüzücüler eğlence amaçlı su kullanıcılarıdır (Şekil 10). Eğlence amaçlı kullanım genellikle tüketim amaçlı değildir. Ancak özellikle kurak bölgelerde golf sahaları gibi alanlarda aşırı miktarda su kullanılması dikkate değerdir. Rekreasyonel kullanım, belirli zaman ve yerlerde diğer kullanıcılar için suyun kullanılabilirliğini azaltabilir. Örneğin, yaz sonunda tekneyle gezilebilmesi için rezervuarda tutulan su, ilkbahar ekim sezonunda çiftçilerin kullanımına sunulmamaktadır. Rafting için salınan su, elektrik talebinin en yüksek olduğu dönemde hidroelektrik üretimi için kullanılamayabilir.

Su Ayak İzi

“Su ayak izi”, malların ve hizmetlerin üretiminde tüketilen doğrudan ve dolaylı su miktarlarını bütüncül bir şekilde ele alan “gerçek” su tüketiminin bir göstergesidir [28]. Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin birim zamanda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam temiz su miktarını ifade etmektedir. Başka bir deyişle su ayak izi; su tüketimimizi, yani sebep olduğumuz su kullanımını ve kirliliğini ölçen en kapsayıcı göstergedir. Bu açıdan bakıldığında su ayak izinin yalnızca musluktan akan su, kaynaktan tarlaya alınan su ya da görünen su kullanımını olmadığını, aksine suyla ilgili doğrudan ve dolaylı; iç ve dış bütün tüketimlerin su ayak izine sebep olduğu net bir şekilde görülmektedir. Su ayak izi yalnızca su hacmini değil, aynı zamanda kullanılan suyun türünü (yeşil, mavi, gri), ne zaman ve nerede kullanıldığını da göstermekte olan çok yönlü bir göstergedir. Su ayak izi, aynı zamanda hem doğrudan su kullanımını hem de üretim sürecindeki dolaylı su kullanımını değerlendiren bir kriterdir. “Doğrudan su ayak izi” bir tüketicinin veya üreticinin su tüketimini ve su kullanımına bağlı kirlilik değerini ifade ederken “dolaylı su ayak izi” bir tüketicinin veya üreticinin tük-



Şekil 11. Su ayak izi bileşenleri (29).

ketilen veya üretilen ürünlerin üretimi için gerekli su tüketimine ve kirliliğe karşılık gelir. Örneğin et tüketiminde, tüketicinin doğrudan su ayak izi, eti hazırlarken ve pişirirken tüketilen ve kirlenen su hacmini ifade eder.

Su Ayak İzinin Bileşenleri

Su ayak izinin, su kullanımını ve kalitesini temsil eden mavi, yeşil ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşeni bulunmaktadır.

Mavi su ayak izi, bir malı üretmek için ihtiyaç duyulan toplam yüzey ve yeraltı tatlı su hacmidir. İçme-kullanma suyu, sulama suyu ve sanayi su tüketimleri mavi su ayak izi olarak değerlendirilmektedir. Mavi su ayak izi sulu tarım, sanayi ve evsel su kullanımları için, yüzey veya yeraltı suyu kaynaklarından su iletim şebekesine alınan brüt su olarak da tariflenebilir. Örneğin; sulu tarım için buharlaşma kaybı, bitkisel ürün tarafından kullanılan su ve drene edilen suların toplamı olarak ifade edilebilir. Sanayi ve içme-kullanma suyu sektörlerinde mavi su ayak izi ise, bir havzada mevcut yüzey ve yeraltı suyu kütlelerinden bu sektörler verilen su olarak tanımlanabilir.

Yeşil su ayak izi, bir malı üretmek için ihtiyaç duyulan toplam yağmur suyu hacmidir. Özellikle tarım, bahçe ve orman ürünleri için geçerlidir. Yeşil su ayak izi, akışa geçmeyen ve yeraltı suyuna karışmayan ancak toprakta depolanan veya geçici olarak toprağın veya bitkinin üzerinde kalan karasal yağış anlamına gelir. Tarlalarda ve orman alanlarında gerçekleşen yağmur suyu

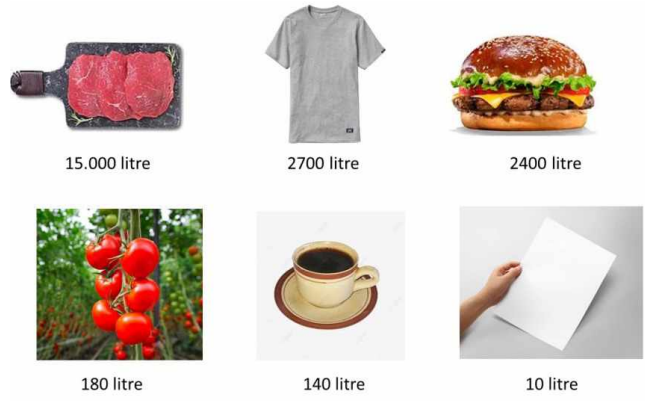
evapotranspirasyonu ile hasat edilen bitkiye dahil olan yağmur suyu toplamını ifade eder.

Gri su ayak izi, kirli suların arıtılarak su kalitesi standartlarının sağlanması için gereken tatlı su miktarıdır. Gri su ayak izi, noktasal ve/veya yayılı kirlilik kaynakları için hesaplanabilir.

Ayrıca kullanım alanlarına göre de "tarımsal su ayak izi" ve "evsel ve endüstriyel su ayak izi" ifadeleri kullanılmaktadır. Ülkemizin toplam su ayak izi 140 milyar m³/yıl'dır. Türkiye'nin toplam su ayak izinin %89'unu tarım sektörü, %7'sini evsel su kullanımı ve %4'ünü endüstriyel üretim oluşturmaktadır. Tarım sektörünün önemli bir parçası olan bitkisel üretimde kullanılan suyun %66'sından fazlasını yeşil su oluşturur. Bu sektörde yer alan otlatmanın su ayak izi ise büyük ölçüde yeşil sudan oluşur. Bu oranlar tarım sektörü için yağışın ne kadar önemli olduğunu ve bu sektörün kuraklık koşullarından kaçınılamaz ölçüde etkileneceğini göstermektedir. Bitkisel üretimde kullanılan suyun yaklaşık %20'sini ise mavi su oluşturur [30].

Evsel ve endüstriyel su ayak izinde gri su ayak izi ön plana çıkar. Ülkemizde evsel su ayak izinde gri su ayak izi %87; endüstriyel su ayak izinde gri su ayak izi %92 gibi bir orana sahiptir. Türkiye'de endüstriyel ve evsel su ayak izinde gri su ayak izinin baskın olması, ülkedeki ekonomik büyüme ve nüfus artışı tahminleriyle birleşince, gelecekte su kalitesi açısından gri su ayak izinin risk oluşturacağı görülmektedir [30].

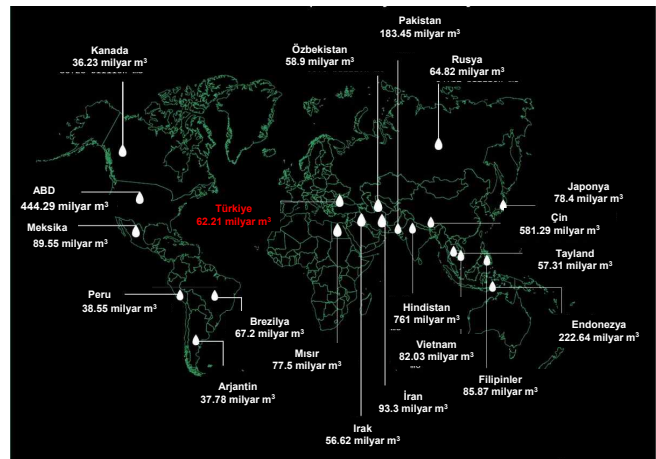
Su ayak izini daha iyi anlamak için bazı ürünlerin üretilmesi için gerekli su miktarları verilmiştir (Şekil 12). 1 kg et üretmek için 15.000 L, bir adet pamuklu tişört üretmek için 2700 L, 1 kg domates üretmek için 180 L suya gereksinim vardır.



Şekil 12. Bazı ürünlerin su ayak izi

Dünyada ve Türkiye'de Su Kullanımı

Küresel ölçekte tatlı su tüketimi her yıl 4,3 trilyon m³ olarak belirtilmiştir [31]. İnsani tüketime yönelik küresel su miktarı 6.217.438.741.710 tondur. Bu rakam hem doğrudan hem de dolaylı su tüketimini kapsamakta olup, insan faaliyetlerinin dünya su kaynakları üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Tatlı su tüketiminin küresel dağılımı, hem coğrafi eşitsizlikleri hem de nüfus büyüklüğünün su kullanımı üzerindeki etkisini yansıtan keskin bir tezat sunmaktadır. Mevcut en son verilere göre ilk yirmi arasında en az tatlı su tüketimine sahip ülkeler Kanada, Arjantin ve Peru'dur (Şekil 13). Her ülke yılda yaklaşık 36 ila 39 milyar metreküp su kullanmaktadır. Buna karşılık Hindistan, Çin ve ABD, sırasıyla 761 milyar, 581,29 milyar ve 444,29 milyar metreküp su tüketim oranlarıyla en büyük tüketiciler olarak ortaya çıkmaktadır [31].



Şekil 13. Ülkelere göre su kullanımı [31].

Yeraltı Suyu Kullanımı

Yeraltı suyu, dünyadaki mevcut sıvı tatlı suyun %99'unu oluşturur ve insanlığın su tüketiminin yaklaşık dörtte birinin kaynağıdır. Özellikle tarım sektörü, tüm yeraltı su kaynaklarının %72'sinden yararlanan birincil kullanıcıdır. Evsel kullanım, bu soyutlamaların %22'sini oluştururken, endüstriyel amaçlar da %9'unu oluşturmaktadır. Dünyadaki kentsel nüfusun neredeyse yarısı su temini için artık yeraltı suyu kaynaklarına bağımlıdır [31].

Endüstriyel ve Tarımsal Su Kullanımı

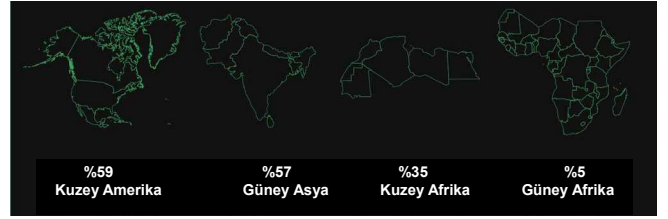
İmalat, madencilik, petrol ve gaz, enerji üretimi, mühendislik ve inşaat dahil olmak üzere çeşitli endüstriler yeraltı suyuna bağımlıdır. Bu önemli su kullanımı genellikle üretimin sonunda kapsamlı temizlik işlemlerine duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Sanayi ve enerji sektörleri küresel tatlı su çekiminin yaklaşık %19'unu oluşturmaktadır. Dünyadaki tatlı su kullanımının ve kirliliğinin önemli bir kısmı (yaklaşık %70) gıda, tekstil, enerji, sanayi, kimya, ilaç ve madencilik olmak üzere yedi ana sektöre aittir. Yüksek gelirli ve düşük gelirli ülkeler arasında endüstriyel su çekiminde dikkate değer eşitsizlikler mevcuttur (Şekil 14). Yüksek gelirli ülkelerde endüstriyel su çekimi toplam su tüketiminin %17'sini oluştururken, düşük gelirli ülkelerde bu oran yalnızca %2'dir.



Şekil 14. Endüstriyel su tüketimi [31]

Tarımsal Su Tüketimi

Yeraltı suyu, küresel tarımsal üretimde çok önemli bir rol oynamaktadır. Tüm yeraltı suyunun çekilmesinin yaklaşık %72'si gıda mahsullerinin, liflerin, besi hayvanlarının ve endüstriyel mahsullerin büyümesinin sürdürülmesine tahsis edilmektedir. Sulama amaçlı yeraltı suyu kullanımında sulanan alanların %59'unun yeraltı suyu kaynaklarından yararlandığı Kuzey Amerika öne çıkmaktadır (Şekil 15). Sulanan topraklarının %57'sinin geçim için yeraltı suyuna bağımlı olduğu Güney Asya da onu yakından takip etmektedir.



Şekil 15. Sulama amaçlı kullanılan yeraltı suyu [31].

Suya Yönelik Tehditler

Suyu miktar ve kalite açısından tehdit eden başlıca etkenleri iklim değişikliği, kirlilik, aşırı yeraltı suyu çekimi ve habitat tahribatı - kentleşme oluşturmaktadır.

İklim değişikliği, küresel ısınmayı (küresel ortalama sıcaklıkta devam eden artışı) ve bunun Dünya'nın iklim sistemi üzerindeki etkilerini tanımlar (Şekil 16). İklim değişikliği, yağış düzenlerini değiştirebileceği, kuraklık ve taşkınların sıklığını ve yoğunluğunu artırabileceği ve su sıcaklığında değişikliklere neden olabileceği için suyun durumu açısından önemli zorluklar doğurmaktadır [32]. Bu etkiler su mevcudiyetinin azalmasına, su kalitesinin bozulmasına ve ekosistemlerin bozulmasına neden olabilir. İklim değişikliği aynı zamanda farklı kullanıcılar ve sektörler arasındaki su kaynakları rekabeti gibi mevcut su yönetimi sorunlarını da doğurmaktadır.

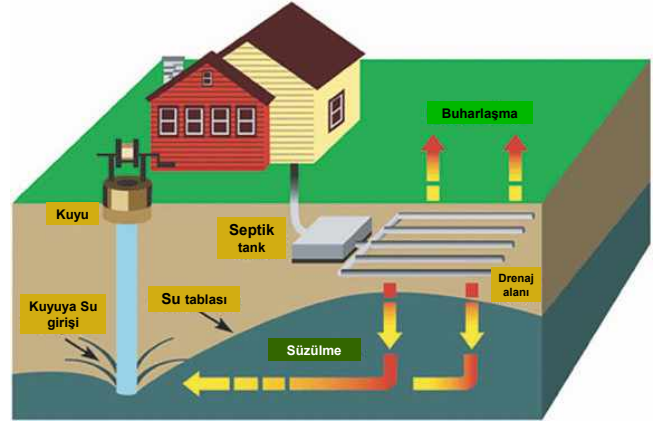


Şekil 16. (a) Doğada gözlenen iklim değişikliği etkileri



Şekil 16. (a) Doğada gözlenen iklim değişikliği etkileri

İklim değişikliğinin etkilerinden birisi olan kuraklık, koşulların normalden daha kuru olduğu bir dönemdir. Kuraklık günler, aylar ya da yıllar sürebilir ve genellikle etkilenen bölgelerin ekosis-



Şekil 18. Septik sistemlerin yeraltı suyuna etkisi [35].

temleri ve tarımı üzerinde büyük etkileri olur, yerel ekonomiye zarar verebilir.

Su kıtlığı, standart su talebini karşılayacak tatlı su kaynaklarının bulunmamasıdır. Fiziksel ve ekonomik su kıtlığı olmak üzere iki tür su kıtlığı vardır [33]. Fiziksel su kıtlığı, ekosistemlerin çalışması için gerekli olan su da dahil olmak üzere tüm talepleri karşılayacak yeterli suyun olmadığı durumdur. Ekonomik su kıtlığı, parayla ilgili nedenlerden dolayı nüfusun taleplerini karşılayacak yeterli su olmadığına ortaya çıkar. Su, insanların



Şekil 17. Su kaynaklarının kirlenme kaynaklarından bazıları

karşılayamayacağı kadar pahalı olabilir ve/veya kirli suyun temizlenmesi çok pahalı olabilir.

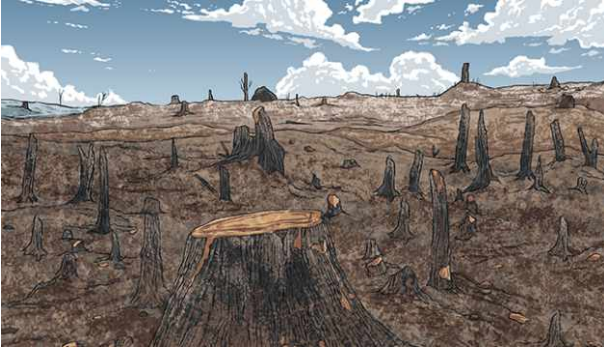
Su kirliliği, kimyasallar, atık malzemeler veya kirlenici maddeler gibi zararlı maddelerin su kütlelerine girmesi ve su kalitesini bozması durumudur. Yaygın kirlilik kaynakları arasında endüstriyel atıklar, tarımsal akıntılar, kanalizasyon ve yağmur suyu akıntıları yer alır (Şekil 17). Kirlenici maddeler su yaşamına zarar verebilir, ekosistemleri bozabilir ve içme, banyo yapma veya dinlenme amacıyla kirli suya bağımlı olan insanlar için sağlık riskleri oluşturabilir [34].

Yeraltı suyu kirliliğinin başka bir potansiyel kaynağı ise septik sistemlerdir. Septik sistemler (Şekil 18) yanlış kurulur veya bakımı yanlış yapılırsa, birçok ev temizleyicisinde bulunan bakteriler, virüsler, nitrat, fosfor, klorürler ve organik çözücülerin yanı sıra "temiz" septik sistemlere satılan ürünlerin tümü yeraltı suyuna karışabilir. Septik sistemlerinin kötü inşası veya bakımının bir sonucu olarak, kırsal kesimdeki ev sahipleri sıklıkla kendi kuyularının

kirlenmesine neden olmaktadır.

Diğer kirlilik sorunları arasında hassas kıyı sularına aşırı azot bileşikler deşarjı, iç yüzey sularında alg gelişimini artıran ve çözünmüş oksijen seviyelerini düşüren fosfor kirliliği ve tarımsal kirlilik yer alır. Önemli kabuklu deniz hayvanı yataklarının ve yüzülebilen plajların patojenler tarafından kirlenmesi bazı kıyı bölgelerinde bir endişe kaynağıdır [35]. Tarım, dünyadaki erişilebilir tatlı suyun %70'ini kullanmakta ancak bunun yaklaşık %60'ı, sızdıran sulama sistemleri, verimsiz uygulama yöntemleri ve yetiştirildikleri çevreye fazla susayan mahsullerin yetiştirilmesi nedeniyle israf edilmektedir. Tarımsal faaliyetler aynı zamanda hem gübreler hem de pestisitler yoluyla, hem insanları hem de diğer türleri etkileyen önemli miktarda tatlı su kirliliği yaratmaktadır.

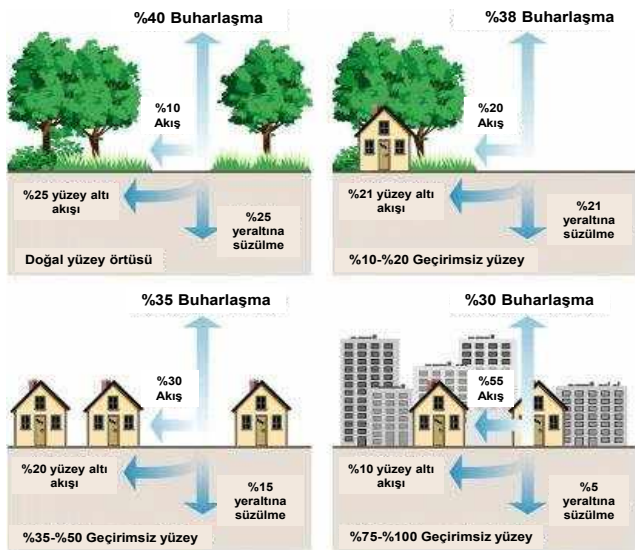
Ormansızlaşma, sulak alan drenajı ve kentleşme gibi habitat tahribatları suyun durumunda değişikliklere yol açmaktadır. Bu faaliyetler, sızma, buharlaşma ve besin döngüsü gibi su kalı-



Şekil 18. Suyu tehdit eden bazı habitat tahribatları

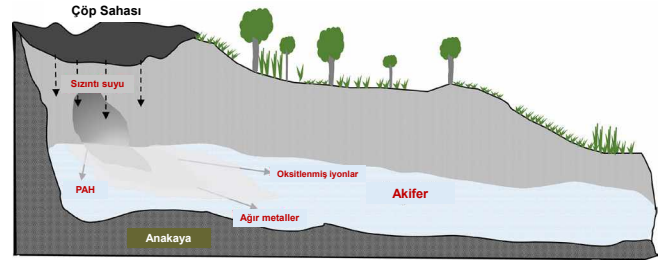
tesinin ve miktarının korunmasına yardımcı olan doğal süreçleri bozmaktadır. Habitat tahribatı aynı zamanda önemli habitatları ortadan kaldırarak, erozyonu artırarak ve su akış düzenini değiştirerek su ekosistemlerine de zarar vermektedir (Şekil 18).

Kentleşme aynı zamanda bir tür habitat tahribatıdır. Bitki örtüsünün yok olmasıyla birlikte artan birçok insan faaliyeti ve arazi kullanım uygulaması yeraltı suyunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin mezarlıklar bile yeraltı suyunu kirletebilir. Kentleşmenin bir etkisi de doğal akış yollarının değişmesi ve veya değiştirilmesidir. Geçirimsiz yüzeylerle (çatılar, otoparklar veya sokaklar) kaplanmış topraklar yağışın yeraltına süzülmesini engellemektedir. Böylece yağmur ve kar erimesinden kaynaklanan suyun büyük bir kısmı doğrudan akarsulara ulaşır ve hiçbir zaman yeraltı suyunu besleyemez (Şekil 19). Kentlerdeki fazla insan yoğunluğu daha fazla gereksinimine dolayısıyla akiferlerin aşırı tüketilmesine ve akiferde su seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Kentlerde kanalizasyon arıtma tesisi atıklarının daha yüksek konsantrasyonları nedeniyle akış suyu kalitesi zarar görmekte, artan nüfusla birlikte sanayileşme ve çoğu potansiyel olarak yeraltı suyunu kirletebilecek endüstriyel faaliyetlerin miktarı ve çeşitliliği de artmaktadır. Hem endüstriyel tesislerdeki hem de benzin istasyonlarındaki sızıntı yapan depolama tanklarının yeraltı suyunu kirlettiği de rapor edilen diğer etkilerdir [37]. Kentleşme ayrıca yağmur suyunun, binalardan, kaldırımlardan, otoparklardan, çimlerden ve diğer kentsel alanlardan toplanarak kentsel akış oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 19. Kentleşmenin yeraltı suyu beslenimine etkisi [36]

Suları tehdit eden diğer unsurlar ise atık bertarafı (Şekil 20) ve aşırı su çekimidir. Yeraltı suyu kirliliğinin en iyi bilinen kaynağı olan atık depolama alanlarıdır. 1988’de yeni düzenlemelerin yürürlüğe girmesinden önce mevcut olan hem belediye hem de endüstriyel atık depolama alanları bu konuda önemli tehdit unsurlarıdır [37]. Ülkemizde de özellikle vahşi depolama alanları yeraltı suları için ciddi tehdit oluşturmaktadır.



Şekil 20. Atık depolama alanının yeraltı suyu etkisi [38].

Yeraltından aşırı su çekilmesi veya suyun nehirlerden, göllerden aşırı çekilmesi, mevcut su kaynaklarında azalmaya yol açabilir. Bu genellikle nüfus artışı, tarımsal genişleme ve endüstriyel gelişme nedeniyle artan su talebinden kaynaklanmaktadır. Aşırı su çekme, nehir akışlarının azalmasına, yeraltı suyu seviyelerinin düşmesine ve sulak alanların kurummasına neden olabilir ki; bu durum da ekosistemleri, su mevcudiyetini ve su kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Su Kaynaklarının Korunması

Su Kaynaklarının Korunması, içme suyu kaynaklarını aşırı kullanıma ve kirlenmeye karşı korumak için yerel su kuruluşlarının yanı sıra bölgesel veya ulusal hükümet kurumları tarafından yürütülen bir planlama sürecidir. Bu süreç, su kaynaklarının tanımlanmasını, bilinen ve potansiyel kirlenme tehditlerinin değerlendirilmesini, halkın bilgilendirilmesini ve kirliliğin ortadan kaldırılmasına yönelik adımları içerir. Göllere, nehirlere ve yeraltı sularına uygulanan bu süreçte her ülke yerüstü ve yeraltı suları için kendi yönetmeliklerini oluşturmuştur. Yerüstü suları için önleme, arıtma ve ekosistem onarımı olmak üzere genellikle koruma için üç temel strateji mevcuttur. Önleme, evsel, endüstriyel veya tarımsal kullanımdan kaynaklanan atıkların, kirlenici maddelerin veya arıtılmamış

suyun boşaltılmaması; besinlerin su sistemlerine girmesini engellemek için tarımda su kullanımı ve uygulamaların optimize edilmesini gerektirir. Arıtma, kirli suyun deşarj edilmeden önce arıtılması; yağmur suyu yönetimi, akışın kirleticileri su kütlelerine ulaşmasını önlemeyi gerektirir. Ekosistemlerin onarımı ise doğal rehabilitasyon süreçlerini etkinleştirmeyi ve desteklemeyi gerektirir.

Ülkemizde su kaynaklarının korunması amacıyla ilgili birimler tarafından yerüstü suları için 29797 No.lu "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği", Yeraltı sularının korunması için ise 29363 sayılı "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" oluşturmuşlardır. Su kullanımı ile ilgili çalışmalar bu yönetmelikler doğrultusunda yürütülmektedir.

Türkiye'nin Su İstatistikleri

Ülkemiz 783.562 km²'lik bir yüzey alanına sahip olup ılıman orta iklim kuşağında ve deniz seviyesinden ortalama 1.132 m yükseklikte yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, ortalama yağış miktarı 574 mm, en yüksek yağış Doğu Karadeniz Bölgesi'nde (2.200- 2.400 mm/yıl), en düşük yağış ise İç Anadolu'nun orta kesimlerinde (200-400 mm/yıl) olarak gözlenmektedir.

Artan nüfus, ekonomik büyümeye bağlı olarak sanayinin gelişmesi, yoğun tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gibi nedenler mevcut su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin özellikle suyun hidrolojik çevrimine, mekânsal ve zamansal dağılımına etkisi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bilindiği üzere ülkemiz genelinde yağış miktarı ve su kullanımları dengeli dağılmamakta olup özellikle yağışın düşük ve su kullanımlarının yoğun olduğu havzalarda su stresi yaşanmaktadır [1]. Bu havzalarda buharlaşma ile su kaybı da fazla olup yağışlar da bitkilerin su ihtiyacının yüksek olduğu yaz ayların da değil de kış aylarında görülmektedir.

Ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli toplamı yıllık 112 milyar m³'tür. Ülkemizde, toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarının günümüz itibarıyla geliştirdikleri projeler sonucu çe-

şitli amaçlara yönelik yıllık su tüketimi, toplam su potansiyelinin %52'sine yani 57,44 milyar m³'e ulaşmıştır. Bu suyun 44,6 milyar m³'ü (%77,3) sulama, 13,1 milyar m³'ü (%22,7) ise içme - kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Tüketilen suyun 40,68 milyar m³'ü (%70) yerüstü sularından, 17,03 milyar m³'ü (%30) ise yeraltı sularından sağlanmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Ülkemizde yağış, nüfus ve su potansiyeline ait genel bilgiler [1].

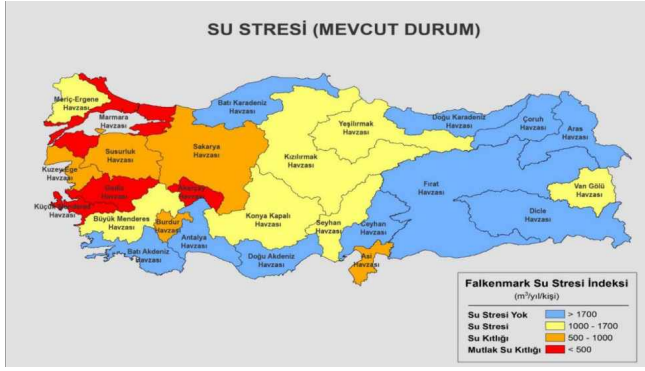
Ülkemiz Yüzölçümü	78 milyon ha
Yıllık Toplam Yağış Miktarı	450 milyar m ³
Yıllık Ortalama Alansal Yağış Miktarı	574 mm
Yıllık Ortalama Yüzey Akış Miktarı (Doğal Akım)	185 milyar m ³
Yıllık Kullanılabilir Yerüstü Suyu Miktarı	94 milyar m ³
Yeraltı Suyu Emniyetli Rezerv Miktarı	18 milyar m ³
Yıllık Toplam Kullanılabilir Su Miktarı	112 milyar m ³
Ülkemiz Nüfusu (2023)	85,372 milyon
Kişi Başına Düşen Yıllık Su Miktarı	1.311 m ³

Nüfusun su kaynakları üzerindeki baskısını ortaya koyabilmek için çeşitli indeksler kullanılmaktadır. Bu amaçla için yaygın olarak kullanılan Falkenmark Su Stresi İndeksi bir yılda kişi başına düşen su miktarıdır. Bu indekse göre Türkiye'nin 2023 yılı nüfusu 85.372.377 olup, kişi başına düşen yıllık su miktarı 1.311 m³/kişi/yıldır. Falkenmark Su Stresi İndeksine göre (Tablo 2) Türkiye su stresi (su sıkıntısı) çeken bir ülke konumundadır.

Tablo 3. Falkenmark Su Stresi İndeksi

Su (m ³ /kişi/yıl)	Sınıflandırma
>1.700	Su baskısı yok
1.000 – 1.700	Su sıkıntısı
500 – 1.000	Su kıtlığı
<500	Mutlak su kıtlığı

Ülkemiz 25 Akarsu havzasına sahiptir. Havzalardaki su stresi durumu için 2021 yılı ve 2050 yılı için hesaplanmıştır (Şekil 21). Çalışmalara göre günümüzde 3 havzamızda "mutlak su kıtlığı" yaşanırken 2050 yılında 5 havzamızda "mutlak su kıtlığı" yaşanacağı görülmektedir.



Şekil 22. Havzalardaki su stresi mevcut durum ve 2050 yılı için öngörülen durum

Sonuç

Dünya genelinde mevcut su miktarı sabittir ve bunun büyük çoğunluğu tuzludur. Tatlı sular toplam suyun sadece %2.5'i kadardır. Bunun da büyük kısmı buzullardadır ve günümüz şartlarında kullanılabilir tatlı su miktarı oldukça azdır. Dünya nüfusu giderek artmaktadır ve sabit su miktarının her geçen gün daha faydalı kullanılması gereklidir. İnsanların her türlü faaliyeti su kaynaklarını olumsuz etkilemektedir. Gerek bireysel gerekse toplumsal yaşantımızda suyun önemi çok büyüktür. Bu değeri unutmadan yapacağımız her türlü faaliyeti “yaşam için vazgeçilmez olan su”ya etkisini düşünerek gerçekleştirmemiz son derece önemlidir.

Kaynakça

- [1] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. 1. Su Şurası. Su Şurası. <https://susurasi.gov.tr/Sayfa/Detay/1497>. Erişim tarihi 1 Mart 2024
- [2] Zumdahl, S.S. Fact-checked by The Editors of Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/water>. Erişim tarihi 1 Mart 2024
- [3] The Planetary society. <https://www.planetary.org/articles/how-did-earth-get-its-water>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.

- [4] Taylor R. N. “Where did Earth’s water come from”. Astronomy.com. <https://www.astronomy.com/science/where-did-earth-water-come-from>. 2019. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [5] Pepin, R.O. “On the origin and early evolution of terrestrial planet atmospheres and meteoritic volatiles”. *Icarus*. 92 (1): 2–79. Bibcode:1991Icar...92....2P. doi:10.1016/0019-1035(91)90036-s. ISSN 0019-1035, 2019.
- [6] Piani L. “Earth’s water may have been inherited from material similar to enstatite chondrite meteorites”. *Science*. 369 (6507): 1110–1113, 2020.
- [7] Washington University in St. Louis, Meteorite study suggests Earth may have been wet since it formed, <https://www.eurekaalert.org/news-releases/800546>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [8] American Association for the Advancement of Science “Unexpected abundance of hydrogen in meteorites reveals the origin of Earth’s water”. <https://www.eurekaalert.org/news-releases/716256>. Erişim tarihi 18 Mart 2024.
- [9] USGS, (<https://www.usgs.gov/media/images/su-dongusu-water-cycle-turkish-png>). Erişim tarihi 12 Aralık 2023.
- [10] Koren, V., J. Schaake, K. Mitchell, Q. Y. Duan, F. Chen, J. M. Baker. A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. *J. Geophys. Res.*, 104, 19 569–19 585, 1999.
- [11] Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, J. D. Tarpley. Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *J. Geophys. Res.*, 108, 8851, 2003.
- [12] NASA SCIENCE. Water Cycle | Science Mission Directorate. <https://science.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle>. Erişim tarihi 7 Mart 2024.
- [13] Chahine M. T. The hydrological cycle and its influence on climate, *Nature* 359, 373–380, 1992.
- [14] Gleick, P.H. Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security. *International Security*, 18, 79, 1993.
- [15] National Snow and Ice Data Center, University of Colorado Boulder. <https://nsidc.org/home>. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [16] https://www.kursatozcan.com/ders_notlari/fiziksel_jeoloji/12_yeralti_sulari.pdf. Erişim tarihi 5 Mart 2024.
- [17] Genda, H. “Origin of Earth’s oceans: An assessment of the total amount, history and supply of water”. *Geochemical Journal*. 50. 27–42, 2016.
- [18] Peslier, A. H. Schonbachler, M; Busemann, H; Karato, S. “Water in the Earth’s Interior: Distribution and Origin”. *Space Science Reviews*. 212 (1–2): 743–810, 2017.
- [19] Washington University in St. Louis. <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/08/200827141334.htm>. 2020. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [20] Shiklomanov, I. A. “World fresh water resources” in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World’s Fresh Water Resources* (Oxford University Press, New York).
- [21] U.S. Geological Survey. Estimated Use of Water in the US in

2000. <http://pubs.usgs.gov/circ/2004/circ1268/htdocs/text-ir.html>External. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [22] Environmental Protection Agency. Protecting Water Quality from Agricultural Runoff: Clean Water is Everybody's Business. Nonpoint Source Control Branch, 2005.
- [23] California Department of Water Resources. Agricultural Use Program: California's Irrigated Agriculture. <http://www.owue.water.ca.gov/agdev/External>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [24] U.S. Geological Survey. Industrial Water Use. <https://www.usgs.gov>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [25] Commission for Environmental Cooperation. North American Environmental Atlas: Water Use in the U.S. http://nationalatlas.gov/articles/water/a_wateruse. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [26] "WBCSD Water Facts & Trends". <https://www.wbcd.org/>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [27] "Water Development and Management Unit - Topics - Irrigation". <https://www.fao.org/land-water/en/>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [28] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Water_footprint. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [29] <https://e-circularcanarias.es/?k=what-is-a-water-footprint-water-footprints-explained-figbytes-pp-DwwmMDcD>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [30] WWF, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu, Su, Üretim ve Uluslararası Ticaret İlişkisi. 2014.
- [31] Water Consumption Statistics. <https://irrigreen.com/pages/water-consumption-statistics>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [32] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [33]. WHO-UNICEF (2010) "Coping with water scarcity, an action framework for agriculture and food security"FAO water reports no. 38, 2008.6. "Progress on Sanitation and Drinking Water Report", WHO-UNICEF.
- [34] EPA, US Environmental Protection Agency, Septic Systems and Drinking Water. <https://www.epa.gov/septic/septic-system-impacts-water-sources>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [35] Groundwater contamination from septic tanks. <https://www.ec.gc.ca/eauwater/default.asp?lang%26n%26A7FB7B2-1>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [36] Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FIS-RWG). Stream corridor Restoration: Principles, Processes and Practices (10/98), 1998.
- [37] West Virginia Conservation Agency. <https://www.wvca.us/environ/a15.cfm>. Erişim Tarihi 9 Mart 2024.
- [38] Abiriga, D. Vestgarden, L.S., Klempe, H. Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry, Science of the Total Environment, 737 (2020) 140307, 2020.