



Biyosferde Su Döngüsü ve Bitkiler Tarafından Suyun Alınma Mekanizmaları

Murat SARGINCI^{1*}, Abdullah Hüseyin DÖNMEZ¹, Oktay YILDIZ¹

¹Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü

***Sorumlu yazar:** muratsarginci@duzce.edu.tr

ÖZET

Dünya yüzeyinin %75'ini su kaplamakta ve bu değer toplam dünya kütlelerinin sadece yaklaşık 4500 de 1'ini oluşturmaktadır. Su bütün canlılar için mutlaka gerek duyulan bir yaşam sıvısıdır. Çünkü bütün fizyolojik olaylar su ortamında oluşur. Aynı zamanda suyun ekolojik önemi, bitki türlerinin dünya üzerindeki dağılımlarında da çok önemli bir rol oynar. Yaşamın temeli olarak bilinen protoplazmayı da yine çoğunlukla su oluşturur. Bitkilerin yapıları incelendiğinde yapılarının %80-90 civarında sudan, geri kalan kısmının ise kuru maddeden oluştuğu görülmektedir. Hatta bu kuru maddenin hemen hemen 1/3'ünü de özümlemede oluşan su içermektedir. Dolayısıyla yaşamın devamlılığında, yaşam formlarının biyosfer üzerindeki dağılımlarına suyun büyük bir önemi bulunmaktadır. Bu yaşam formlarından biri olan bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu hangi mekanizmalar ya da kuvvetlerle alabildiğini bilmek ormancılık faaliyetlerinden, tarımsal faaliyetlere, bitki koruma faaliyetlerinden bitki yayılımlarının incelenmesine birçok alanda alınacak kararlarda stratejik bir öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Biyosfer, Su, Döngü, Bitki Su Alımı

Water Cycle In Biosphere And Mechanisms Of Water Uptake By Plants

ABSTRACT

Water is covered 75% of the Earth's surface and this value is only about 1 in 4500 of the total world mass. It is absolutely necessary for all living things as a living fluid. Because all physiological events occur in the water environment. At the same time, the ecological importance of the water plays a very important role in the distribution of plant species around the world. The protoplasm, also known as the basis of life, is also often formed by water. When the structures of the plants are examined, it can be seen that the structures are composed of about 80-90% water, and the rest are dry matter. In fact, almost 1/3 of this dry matter contains water which is formed in the assimilation. Therefore, there is a great importance of water for the continuity of life, for the distribution of life forms on biosphere. Knowing what mechanisms or forces are used for up taking needed water by plants, one of these life forms, has a strategic importance in decisions to be taken in many areas, such as forestry activities, agricultural activities, plant protection activities, examining plant distribution.

Keywords: Biosphere, Water Cycle, Plant Water Uptake

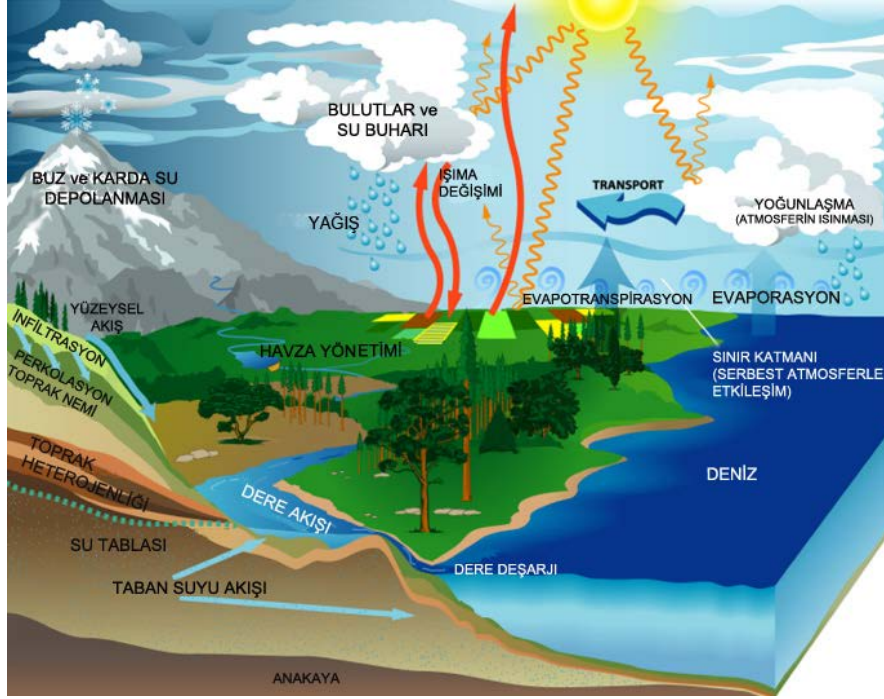
1. Biyosferde Su Döngüsü

Su, dünya yüzeyinin yaklaşık 3/4'ünü kaplar, fakat dünya kütlelerinin sadece yaklaşık 4500 de l'ini oluşturur (Schlesinger, 1997; Öztürk ve Seçmen, 2004). Dünyada bulunan suyun büyük bir kısmı okyanuslarda (% 96,5), buzullarda (% 2,4) ve yeraltında (%1) bulunur (Şekil 1). Bitkiler ile karada yaşayan organizmaların yaşamını destekleyen toprak suyu dünyada bulunan toplam suyun ancak % 0.01'lik çok az bir kısmını oluşturur (Schlesinger, 1997). Su yaşam için gerekli olan en önemli maddedir. Çünkü fizyolojik olaylar su ortamında oluşur. Aynı zamanda suyun ekolojik önemi, bitki türlerinin dağılımlarını düzenlemede de çok önemli bir rol oynar. Yaşamın temeli olarak bilinen protoplazmayı da yine çoğunlukla su oluşturur. Bitkilerin yapıları incelendiğinde yapılarının %80-90 civarında sudan, geri kalan kısmının ise kuru maddeden oluştuğu görülmektedir. Hatta bu kuru maddenin hemen hemen 1/3'ünü de özümlemede oluşan su içermektedir (Kacar, 1984; Güneş ve ark., 2004; Öztürk ve Seçmen, 2004).

Ekosistemlerdeki döngüler çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Bazı döngüler canlı organizmalar ve atmosfer arasında gerçekleşirken, bazıları organizmalar ve toprak arasında gerçekleşmektedir. Bazı döngülerin ise her iki yolla gerçekleşmesi söz konusudur. Ayrıca bitkiler ve hayvanlar arasında içsel bir döngü söz konusudur ki bu döngü, besin elementlerinin organizmalar içinde muhafaza edilmesini ve yer değiştirmesini sağlar (Kimmins, 1997; Schlesinger, 1997; Waring ve Running, 1998). Belirtilen bu döngülere dayanarak, ekosistemlerdeki döngüler üç ana başlık altında toplanmakta ve bunlar sırasıyla jeokimyasal döngü (ekosistemler arası döngü), biyojeokimyasal döngü (ekosistem içi döngü) ve biyokimyasal döngü (organizmalar arası içsel döngü)'den oluşmaktadır (Çepel, 1995; Kimmins, 1997; Schlesinger, 1997; Waring ve Running, 1998; Odum ve Barret, 2008). Ekosistemdeki su döngüsü, bu döngülerden biyojeokimyasal döngü içerisinde yer almaktadır (Schlesinger, 1997; Odum ve Barret, 2008).

Yerkürenin içerdiği su kütlesi az-çok sabit olup, hiçbir su molekülü yerküre ve atmosfer dışına çıkamaz. Ancak güneş enerjisi ve yer çekiminin etkisiyle doğada düzenli olarak hareket eder. İşte suyun litosfer, hidrosfer ve atmosfer arasındaki bu hareketine Su Döngüsü ya da Hidrolojik Döngü denir (Wisler ve Brater, 1959; Schlesinger, 1997; Kocataş, 1999). Su döngüsünde suyun en çok depolandığı yer okyanuslar, en az miktarda depolandığı yer de atmosferdir. Suyun okyanuslardan ve karasal ekosistemlerden buharlaşması sonucu başlayan su döngüsünde, su öncelikle atmosfere çıkar; sonra da yağış halinde yerküreye geri döner (Şekil 2A). Okyanuslardan buharlaşan suyun % 91'lik kısmı doğrudan okyanuslara geri dönmekte, % 9'luk kısmı (40.000 km³) da kara parçaları üzerine düşmektedir. Karalar her ne kadar yeryüzünün % 30'luk kısmını kaplasa da buralardan buharlaşan su (71.000 km³) toplam küresel buharlaşmanın %15'ini oluşturur. Karasal yağışların (111.000 km³) üçte biri (40.000 km³) okyanuslardan, üçte ikisi (71.000 km³) karalardan buharlaşır ve geri döner (Chapin ve ark., 2002). Karaya düşen yağışların bir kısmı yüzeysel akışla ya da topraktan süzülerek tekrar okyanuslara ulaşır. Su döngüsünü etkileyen yağış faktörü enlemlere, yüksekliğe ve bölgenin atmosferik özelliğine bağlı olarak değişim gösterir. Yağışlarla yeryüzüne 465.000 km³ su gelmekte olup, bunun 365.000 km³ ü denizlere, 100.000 km³ ü ise karalara düşmektedir. Bu yağış miktarı yerküreye yılda ortalama 1000 mm'ye eşdeğer olmaktadır. Bu nedenle bir su damlacığının buharlaşıp tekrar yağış şeklinde yerküreye

düşmesi yılda 40-42 kez yinelenmektedir (Kocataş, 1999). Yapılan araştırmalara göre yağışın 7/9'u okyanuslara ve 2/9'u da karalara geri döner (Schlesinger, 1997; Akman ve Ark., 2004). Suyun bu döngüsünde gerekli olan enerji güneşten karşılanmakta ve güneş enerjisinin yaklaşık üçte biri bu döngünün sürdürülebilmesi için harcanmaktadır (Şekil 2B) (Odum ve Barret, 2008).



Şekil 1. Ekosistemde Su Döngüsü (Türkçe çeviri: Murat SARGINCI) (Anonim, 2022)

Yağışlarla yeryüzüne gelen suların doğadaki birikim yeri, kalma zamanı, şekli ve miktarı ile canlı yaşamı arasında sıkı bir ilişki vardır. Canlılar yerküredeki sudan her zaman doğrudan doğruya yararlanamazlar. Okyanus ve denizlerdeki suyun tuzlu olması, kutuplardaki suyun donmuş olması gibi bazı faktörler canlılar tarafından suyun kullanılmasını sınırlandırabilmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda dünyadaki tatlı su miktarının miktarının gezegendeki su miktarının ancak %2,6'sı olduğu, bunun büyük bir kısmının da buzullara hapsediği ortaya çıkarılmıştır (Schlesinger, 1997; Kocataş, 1999; Chapin ve ark., 2002).

Su döngü halindeyken çok farklı izotopik şekillerde bulunur. Buna doğada üç farklı izotopu bulunan Oksijen (^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O) ve üç farklı izotopu bulunan Hidrojen (^1H (protium), ^2H (deuterium), ve ^3H (tritium)) neden olmaktadır (Kramer, 1969; Gat, 1980; Kang, 1999). Suyun farklı izotoplarının doğada bulunuşu su döngüsünün, hal değiştirme, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar ile taşınma olaylarının neden olduğu değişik aşamalarındaki fraksiyonlarından kaynaklanmaktadır. İzotopların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki çok az bir farklılık, kütleleri farklı olan izotopik fraksiyonlara neden olur. Farklı aşamalarındaki su moleküllerinin izotoplarının dağılımı doğal su dinamiklerini ve bu dinamiklerin geçmişini belirlemede kullanılmıştır (Kang, 1999). Suyun, oksijen ve hidrojeninin durağan izotopları toprak-bitki-atmosfer havuzları arasındaki suyun akışı, su

kaynağının ve rezervuarlarının belirlenmesi gibi hidrolojik ve ekolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Che ve ark., 2019; Kübert ve ark., 2020).

Suyun farklı ortamlarda gerçekleşen döngüsü, yer kabuğunun ve üzerinde yaşayan canlıların dinamikleri üzerinde önemli bir rol oynar. Su yerkabuğunun parçalanması ve ayrışması ile erozyon üzerinde önemli bir role sahiptir, ayrıca materyallerin karalarda ve denizlerde taşınmasında önemli bir etkidir. Bununla beraber ekosistemdeki parçaların anlaşılmasında ve bunların dağılımlarının belirlenmesinde su döngüsünün bilinmesi çok önemli bir katkıda bulunmaktadır (Kang, 1999; Chapin ve ark., 2002). Suyun ekosistemdeki biyojeokimyasal döngüsü Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekilde görülen bazı kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır. Buna göre;

- **Evaporasyon (Buharlaştırma):** Sıvı haldeki su moleküllerinin, serbest su yüzeylerinden ve katı cisimlerin ıslak yüzeylerinden gaz haline geçmesi olayıdır. Suyun buharlaşması denizlerden, göllerden, nehirlerden ve karasal yüzeylerden olmaktadır (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Waring ve Running, 1998; Odum ve Barret, 2008).

- **Transpirasyon (Bitkiden Buharlaştırma):** Bitkilerin kökleri ile aldıkları suyun, yapraklarında bulunan stoma denilen boşluklardan su buharı halinde atmosfere geçmesi olayına transpirasyon denir (Wisler ve Brater, 1959; Kramer, 1969; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Waring ve Running, 1998; Odum ve Barret, 2008).

- **Evapotranspirasyon:** Evaporasyon ve transpirasyon olaylarını birlikte ifade eden bir terimdir. Bitkilerden terleme ile katı cisimlerin ıslak yüzeyleri ve su yüzeylerinden buharlaşan sudan oluşur (buharlaştırma + terleme), yani fiziksel olarak buharlaşan su ile biyolojik olarak bitkiler tarafından yapılan terlemedir (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve Ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- **İntersepsiyon:** Bitkilerin toprak üstü kısımları ile tuttıkları yağmur sularının, toprağa ulaşmadan atmosfere buharlaşarak geri dönmesi olayına intersepsiyon denir (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- **İnfiltrasyon:** Toprak yüzeyine ulaşan suyun, toprak yüzeyinden içeriye girmesi olayına infiltrasyon denir (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- **Perkolasyon:** Toprak içine girmiş olan suyun, yerçekiminin de etkisiyle toprak horizonlarında düşey yönde süzülmesi olayıdır (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- **Yüzeysel Akış:** Eğimli bir arazide, yağış sularının toprağın içine girmeden eğim yönünde toprak yüzeyinden akması olayına yüzeysel akış denir (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- **Yüzey Altı Akış:** Buna yatay veya eğik yönde perkolasyon da denebilir. Toprak içinde düşey yönde hareket eden suyun geçirimsiz veya az geçirgen bir tabakaya rastlaması sonucu eğim yönüne paralel yönde ya da suyun serbest enerjisine göre yatay

yönde hareket etmesi olayıdır (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

- Taban Suyu: Toprak içinde hareketinin sürdüren sızıntı suyu sıkı oturmuş ve geçirimsiz bir toprak tabakasına veya anakayaya rastlarsa bu tabakalar üzerinde birikir. Böylece taban suyu meydana gelir. Taban suyu, yer kabuğundaki boşlukları birbirine bağlayacak şekilde dolduran, yerçekimi etkisi altında meydana gelmiş bulunan, eğime ve farklı basınç potansiyellerine göre hareket edebilen sudur (Wisler ve Brater, 1959; Çepel, 1993; Çepel, 1995; Akman ve ark., 2004; Odum ve Barret, 2008).

Su döngüsü Şekil 2’de iki farklı bakış açısıyla gösterilmektedir. Şekil 2A’da küresel ölçekte su döngüsü verilmiştir. Burada suyun depolanma havuzları ve bu havuzlara olan yıllık giriş-çıkışlar tahmini rakamlarla gösterilmiştir. Şekil 2B’de ise su döngüsü, enerji ilişkileri açısından ele alınmıştır. Burada suyun buhar halinde yukarı doğru hareketi, güneşten gelen enerji ile sağlanır. Suyun sıvı halde aşağı doğru hareketi ise, enerji açığa çıkmasına yol açar. Açığa çıkan bu enerji ekosistemlerde değişik şekillerde kullanılmaktadır. Suyun aşağı doğru hareketinden doğan enerji, insanoğlu tarafından da hidroelektrik santraller kurularak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Odum ve Barret, 2008).

Denizlerden buharlaşarak çıkan su miktarı (çıktılar), denizlere yağışlarla düşen su miktarından (girdilerden) fazladır (Chapin ve ark., 2002; Öztürk ve Seçmen, 2004; Odum ve Barret, 2008). Karalarda ise bunun tersi olmaktadır. Başka bir deyişle, karasal ekosistemlerdeki canlıların büyük bir bölümü karalardan değil, denizlerden gelen sular sayesinde varlıklarını sürdürmektedir. Nitekim, yerkürenin pek çok yerinde yağışların yüzde 90’a kadar varan bir bölümü denizlerden gelmektedir (Şekil 2A).

fotosentez faaliyetlerinde kullanılır. Bitkiler tarafından alınan suyun büyük bir kısmı fiziksel amaçlarla (bitkilerin turgoru, serinlemesi, bitki besin maddelerinin bitkide taşınımı gibi) kullanılır. Suyun inorganik tuzlar, şekerler ve organik anyonları çözme özelliği vardır. Aynı zamanda su, tüm biyokimyasal tepkimelerin cereyan ettiği ortamdır. Bu nedenle birçok fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarda suya gereksinim duyulur (Aydemir ve İnce, 1988; Dey ve Harborne, 1997; Güneş ve ark., 2004; Taiz ve Zeiger, 2008; Bonner ve Varner, 2012; Lambers ve Oliveira, 2019).

Suyun kendine özgü özellikleri bir çözücü olarak iş görmesini ve bitkide kolayca taşınmasını sağlar. Bu özellikler su moleküllerinin polar yapısından kaynaklanır (Taiz ve Zeiger, 2008; Bonner ve Varner, 2012). Su, topraktan bitkiye ve bitkiden de atmosfere geçerken, çok çeşitli ortamlarda (hücre çeperi, sitoplazma, zar, hava boşlukları) yolculuk yapar. Ayrıca suyun taşınma mekanizması ortamın tipine göre de değişiklik gösterir. Su moleküllerinin bitki zarlarından nasıl geçtikleri konusu yıllarca belirsizliğini korumuştur. Özellikle suyun bitki hücrelerine difüzyonunun, yalnızca plazma zarının çift lipid tabakasından mı olduğu, yoksa protein kaplı porların da bu işlemde bir rollerinin var olup olmadığı tartışmalıdır. Bu belirsizlik son yıllarda aquaporinlerin (su seçici por) keşfi ile son bulmuştur. Aquaporinler zarda su seçici kanallar oluşturan integral zar proteinleridir. Su, çift lipid tabakaya göre, bu kanallardan daha hızlı geçtiğinden, aquaporinler bitki hücrelerine suyun girişini kolaylaştırmaktadır (Kacar ve ark., 2002; Taiz ve Zeiger, 2008; Bonner ve Varner, 2012).

Topraktaki su miktarının nicel olarak bilinmesi, bu suyun hareket edip etmeyeceği, hareket doğrultusu ve hızının ne olacağı ve bitkilere yararlı olup olmadığı hakkında yeterli bir bilgi vermez. Nitekim farklı toprak tiplerinde bulunan aynı miktardaki suyun yararlılığı farklılık gösterebilmektedir (Dey ve Harborne, 1997; Kantarcı, 2000; Bonner ve Varner, 2012). Örneğin Yeşilsoy ve Aydın (1991) ağırlık üzerinden %15 su içeren kumlu bir toprakta gelişebilen bir bitki türünün, aynı oranda su içeren killi bir toprakta solma noktasında olabileceğini belirtmektedirler. Dolayısıyla toprakta bulunan suyun bitkiler tarafından nasıl alındığını bilmek için daha farklı mekanizmaları ve bunların nasıl işlediğini bilmek gerekmektedir.

Bütün yaşamları boyunca tamamen suda yaşayan bitkiler tıpkı bir tek hücre gibi bütün yüzeyleriyle su alma yeteneğindedirler. Kara bitkileri ise kendileri için gerekli olan suyu genel olarak topraktan, onları toprağa bağlayan kökleri yardımıyla alırlar. Bazı tropik bölgelerde yaşayan epifitler veya çöl bitkileri gibi özel koşullara uymak zorunda kalan kara bitkileri ayrıca toprak üstü organlarıyla (emici tüyler, yapraklar vs.) da su alabilirler. Ancak daha önce de belirtildiği gibi çoğunluğu oluşturan kara bitkileri su ve su da erimiş madensel tuzları kök emici tüyleri vasıtasıyla alırlar (Bozcuk, 2004; Lambers ve Oliveira, 2019). Köklerden suyun etkili bir şekilde emilimi için kök yüzeyi ve toprak arasında yakın temas gereklidir. Su alınımı için gerekli yüzey alanını sağlayan bu temas, toprak içinde kök ve kök tüylerinin büyümesi sonucu en üst düzeye çıkar. Kök epidermis hücrelerinin uzantısı olan kök tüyleri, kökün yüzey alanını büyük ölçüde arttırarak topraktan su ve iyonların absorpsiyon kapasitesini arttırır (Taiz ve Zeiger, 2008).

Bitkiler tarafından topraktan alınan su, köklerden yukarı doğru damarlı bir sistem (vasküler sistem) olarak adlandırılan ksilem'den taşınır. Su iletim elemanları açık tohumlu bitkilerde (Gymnosperm) ve kapalı tohumlu bitkilerde (Angiosperm) farklılık

gösterir. Açık tohumlu bitkilerde suyu yukarı doğru taşıma işini kısa traheitler gerçekleştirir. Yan çeperlerindeki fonksiyonel valfler sayesinde suyu, uç boşlukları birbirine bağlanmış traheitlerden yukarı doğru iletirler. Kapalı tohumlu bitkiler daha uzun ve geniş olan, ayrıca daha etkili su iletim elemanlarına sahiptir. Bunlar veseller olarak adlandırılır ve uçlarındaki sıralı delikli yüzeylerden birbirlerine bağlanmışlardır. Traheitlerde su kolonunda oluşan hava boşluklarının kapatılması, vesellere oranla daha kolaydır. Dolayısıyla suyun az olduğu koşullarda açık tohumlu bitkilerin ksilemlerinde hava boşluğu oluşması ve su kolonunun kırılması (kavitasyon), kapalı bitkilere oranla çok daha az rastlanabilecek bir durumdur. Bu nedenle su kıtlığına daha fazla dayanabilirler (Waring ve Running, 1998; Lambers ve Oliveira, 2019).

Bitkilerde suyun alınmasında ve taşınmasında değişik ortamlarda farklı mekanizmalardan yararlanır. Bitkilerde suyun taşınmasında difüzyon, kitle hareketi ve osmoz gibi temel mekanizmalar rol almaktadır. Basit olarak difüzyon, belli bir maddenin (katı, sıvı veya gaz) konsantrasyonu yüksek olan alandan, konsantrasyonu düşük olan alana doğru, madde parçacıklarının (moleküllerin) kinetik hareketleri sonucu gelişigüzel geçmesi olayıdır. Kitle hareketi ise iki nokta arasında oluşan basınç farkına bağlı olarak, moleküllerin difüzyondan farklı olarak tek tek değil de birlikte hareket etmeleri sonucu oluşan harekettir. Osmoz, difüzyonun özel bir şekli olarak tanımlanabilir. Buna göre seçici geçirgen bir zarla ayrılmış olan ortamda su moleküllerinin yoğunluğunun yüksek olduğu bölgeden, daha az yoğun olduğu bölgeye hareket etmesi olayı osmoz olarak tanımlanır (Kacar ve Ark., 2002; Yeşilsoy, 2002; Bozcuk, 2004; Lambers ve Oliveira, R. S., 2019).

Thorne ve Peterson (1954), suyun bitkiye girmesi için gerekli olan kuvvetleri sınıflandırırken 4 kategoriden bahsetmektedirler. Bu kuvvetler; 1) Osmotik kuvvet, 2) Emme kuvveti, 3) Metabolik kuvvet ve 4) Transpirasyonel çekme kuvvetidir. Bunların suyun bitkiye girişindeki en önemli faktörler olarak dikkate alınabileceğini ve herhangi bir zamanda bitkiye giren toplam su miktarının, net su hareketi kuvvetlerine ve toplam etkili kök yüzeyine bağlı olduğunu belirtmektedirler.

Suyun bitkilere doğru olan hareketi, sistemdeki bir nokta ile diğer bir nokta arasındaki suyun enerji durumundaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Uzun yıllar boyunca yapılan çalışmalar sonucunda, suyun topraktaki hareketini ve bitkiler tarafından alınması için gerekli olan mekanizmaları ifade edebilmek için “Su Potansiyeli” ifadesi ortaya çıkmıştır (Kramer, 1969; Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2005; Taiz ve Zeiger, 2008). Su potansiyeli yunanca Ψ harfi ile gösterilmektedir. Bu ifadeye alt simgeler eklenerek; Ψ_w şeklindeki ifadeyle su potansiyeli ve Ψ_T şeklindeki ifadeyle de toplam su potansiyeli belirtilmektedir. Geçmişte bu ifade “Kimyasal Potansiyel (μ)” olarak yaygın bir şekilde kullanılmış, ancak günümüz fizyologları tarafından toprak-su-bitki ilişkilerini açıklamak için kimyasal potansiyel yerine aynı anlama gelen su potansiyeli ifadesi kullanılmaktadır (Kramer, 1969; Kacar ve ark., 2002; Taiz ve Zeiger, 2008; Kirkham, 2014; Lambers ve Oliveira, 2019). Su potansiyeli, toprakta ya da bitkide bir miligram su parçasının potansiyel enerji durumunu ifade etmektedir (Kramer, 1969; Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2014; Lambers ve Oliveira, 2019). Suyun enerji durumu genel olarak serbest saf suyun görece potansiyeli olarak basınç (megapascal) birimi ile ifade edilir ve bu basınç birim alana uygulanan güce ($1\text{MPa} = 1.02 \times 10^5 \text{ kg m}^{-2}$

²⁾ denktir (Waring ve Running, 1998). Bu potansiyel enerji için referans noktası olarak saf suyun kimyasal potansiyeli sınır değer kabul edilmiş ve saf suyun su potansiyeli sıfır olarak kabul edilmiştir (Waring ve Running, 1998; Kacar ve ark., 2002; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Daha açık bir ifade ile su potansiyeli denildiği zaman, aynı sıcaklık ve atmosfer basıncı altında bulunan çözeltilerdeki suyun kimyasal potansiyeli ile saf suyun kimyasal potansiyeli arasındaki fark anlaşılır (Kacar ve ark., 2002). Bu tanım şu şekilde formüle edilebilir:

$$\Psi_w = (\mu_w - \mu_w^0)$$

Burada:

Ψ_w = Su Potansiyeli

μ_w = Çözeltilerdeki Suyun Kimyasal Potansiyeli

μ_w^0 = Saf Suyun Kimyasal Potansiyeli

Biyolojik sistemlerde çözeltilerin su potansiyelini gösteren değerlerin hepsi sıfırdan küçük, yani negatiftir. Daha önce de belirtildiği gibi saf suyun su potansiyeli 0'dır. Buna karşın çözülmüş madde içeren çözeltinin su potansiyeli (-) negatiftir ve çözünen madde miktarı arttıkça negatif değerinde artmaktadır. Bir başka deyişle çözeltinin su potansiyeli çözünen madde miktarı arttıkça azalmaktadır (Kacar ve ark., 2002; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Suyun hareket yönü her zaman su potansiyelinin negatif olduğu yöne doğrudur (Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014).

Toprak ve bitki içerisindeki su potansiyelinin oluşmasına dört ana faktör etki etmektedir: katı halin varoluşu (matrix); yerçekimi, çözülmüş madde; dış gaz basıncı veya su basıncı (Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Bu dört potansiyel enerji değerlerinin toplamının su potansiyeli ya da toplam su potansiyelini ifade etmesi, su potansiyelinin birçok faktör tarafından oluştuğunu vurgulamaktadır (Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). O halde su potansiyelini bu faktörler çerçevesinde formüle edildiğinde:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

Şeklinde ortaya çıkmaktadır (Kramer, 1969; Waring ve Running, 1998; Kacar ve ark., 2002; Kirkham, 2005; Taiz ve Zeiger, 2008; Kirkham, 2014). Burada Ψ_p basınç potansiyel enerjisini ya da basınç potansiyelini, Ψ_s çözünen madde potansiyel enerjisini ya da çözünen madde potansiyelini (osmotik potansiyel), Ψ_m matrik (kapiler) potansiyel enerjisini ya da matrik potansiyeli, Ψ_g yerçekimi potansiyel enerjisini ya da yerçekimi potansiyelini ifade etmektedir.

Suyun kök bölgesinde yeterli olmasından dolayı transpirasyon yapmayan küçük ağaçlarda, yaprakların su potansiyeli $-0,2$ MPa'dır. Transpirasyon su kolonunda gerilime neden olur ve Ψ aniden $-1,5$ MPa veya daha altına düşer. Su potansiyeli değişimi (gradiyenti), $\Delta\Psi$, bu durumda transpirasyonun gerçekleştiği ve gerçekleşmediği koşullar arasındaki farkı belirtmektedir. Kuraklık stresi altında transpirasyon yapmayan ağaçlarda, gün doğumu öncesi su potansiyeli $-1,5$ MPa'dan bazen $-8,0$ MPa'a kadar düşmektedir. Fakat $\Delta\Psi$ değerleri benzer koşullar altında, stomalar kapalı kaldığı için genelde küçük kalmaktadır (Waring ve Running, 1998).

2.1. Basınç Potansiyeli (Ψ_p)

Basınç potansiyeli, belli bir noktada suyun ağırlığından kaynaklanan bir potansiyel enerjidir. Toprakta basınç potansiyeli iki ayrı bileşenden oluşabilmektedir. Bunlardan birincisi suya doymamış topraklardaki hava boşluklarında oluşan hava basıncı potansiyelidir. İkincisi ise suya doymuş topraklarda hidrostatik basınçtan dolayı oluşan hidrostatik basınç potansiyelidir (Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Bitkilerde ise hidrostatik basınç potansiyeli ile ifade edilmekte ve bir hücre ile diğer hücre arasında oluşan hidrostatik basınç farkını belirtmektedir. Koşullara göre hem pozitif hem de negatif olabilir (Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Hücre içerisinde, çok nadiren gözüken negatif bir çeper basıncı olmadığı sürece Ψ_p pozitiftir. Oluşan bu pozitif basınç Turgor Basıncı olarak adlandırılır (Kacar ve Ark., 2002; Taiz ve Zeiger, 2008; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Bununla beraber Ψ_p , ksilemde transpirasyon süresince negatif veya gutasyon yapan bitkilerde kök basıncının bir sonucu olarak pozitif olabilir (Kramer, 1969; Taiz ve Zeiger, 2008). Ksilemde oluşan negatif basınç Emme Basıncı ya da Negatif Hidrostatik Basınç olarak ifade edilmektedir (Kacar ve ark., 2002). Hücreler dışında oluşan negatif basınç bitkide suyun uzun mesafeli taşınımında çok önemlidir (Taiz ve Zeiger, 2008).

2.2. Çözünen Madde (Osmotik) Potansiyeli (Ψ_s)

Çözünen madde potansiyeli, çözülmüş şeker ve tuzların katılımını ifade eder (Waring ve Running, 1998). Bir başka deyişle Ψ_s ifadesinden suda çözünen maddelerin etkisinden dolayı oluşan su potansiyelinin oranı anlaşılmaktadır. Eğer saf su ve çözelti bir seçici geçirgen zar ile birbirinden ayrılırsa basınç, zarın çözelti tarafında oluşmaktadır. Oluşan bu basınç zarın her iki tarafındaki suyun enerji farkına denktir (Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Genelde osmotik basınç olarak da adlandırılır. Ancak osmotik potansiyelin işareti, her ne kadar sayısal olarak birbirine eşit olsa da osmotik basınçtan farklı olarak negatiftir (Kramer, 1969; Waring ve Running, 1998; Kacar ve ark., 2002; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014).

Donma noktası azalma dereceleri dikkate alınarak osmotik potansiyel ile ilgili yapılan ölçümlerde değerler sucul bitkilerde $-0,1$ MPa'dan, tuzcul bitkilerde -20 MPa'a kadar değişmektedir. Çoğunlukla halofit bitkilerde (tuzcul bitkiler) osmotik potansiyel $-5,0$ MPa ile $-8,0$ MPa değerleri arasında değişirken, diğer bitkilerin özsularında bu değerler $-0,4$ MPa ile $-0,2$ MPa arasında değişmektedir. Osmotik potansiyel değerleri aynı bitkide değişik organlarda farklılık gösterebilir. Örneğin yaprak hücrelerinde belirlenen osmotik potansiyel değerleri, kök hücrelerinde belirlenen osmotik potansiyel değerlerinden daha düşüktür (negatif yönde daha büyüktür) (Kacar ve ark., 2002).

2.3. Matrik (Kapiler) Potansiyel (Ψ_m)

Matrik potansiyel suyu bağlayan kolloitler ve yüzeylerin etkisi olarak ifade edilmektedir (Kramer, 1969). Toprak suyunda matrik potansiyel, topraktaki katı yüzeylerden (matrix) kaynaklanan küçük negatif kuvvetlerin oluşturduğu su potansiyeli oranını ifade eder (Waring ve Running, 1998; Kirkham, 2005; Kirkham, 2014). Bitkide ise hücre duvarları gibi katı yüzeylerden kaynaklanan küçük negatif kuvvetler sonucu ortaya çıkmaktadır (Waring ve Running, 1998). Matrik potansiyel, kapiler potansiyel olarak da isimlendirilmektedir. Bunun

nedeni matrik potansiyelin, silindirik kapiler tüplerde suyun yükselmesinde olduğu gibi, kapiler harekete bağlı olmasıdır (Kirkham, 2005).

Passioura (1980) ve Nobel (1999)'e göre matrik potansiyel su üzerinde etki yapan yeni bir kuvvete işaret etmemektedir. Çünkü yüzey etkileşimlerinin etkisi teorik olarak Ψ_p ve Ψ_s üzerindeki bir etki olarak hesaplanabilir. Kuru materyallerde bu yüzey etkileşimlerinin etkisi, Ψ_p ve Ψ_s bileşenlerine kolay bir şekilde ayırt edilemediği için sıklıkla birlikte gösterilirler ve matrik potansiyel olarak tanımlanırlar. Passioura (1980), toplam su potansiyeli değerine ulaşmak için Ψ_s ve Ψ_p 'lerinin bağımsız olarak hesaplanmasında Ψ_m 'in eklenmesinin doğru olmayacağını, bu potansiyelin oluşturduğu etkinin ihmal edilebilecek kadar küçük bir değer olduğunu belirtmektedir.

2.4. Yerçekimi Potansiyeli (Ψ_g)

Yerçekimi, ona eşit ya da zıt yönde etki eden bir kuvvet olmaksızın suyun aşağı yönde hareketine neden olur. Ψ_g terimi, referans özellikteki suyun üstündeki su yüksekliği (h), suyun yoğunluğuna (ρ_w) ve yerçekiminin hızlandırmasına bağlıdır. Bunu sembollerle aşağıdaki şekilde gösterebiliriz:

$$\Psi_g = \rho_w g h$$

Burada $\rho_w g$ 'nin değeri $0,01 \text{ MPa m}^{-1}$ 'dir. Yani yerçekimi bileşeni yüzeyden yukarı doğru yükseldikçe 1 m'de $0,01 \text{ MPa}$ 'lık bir değişime neden olur. Dolayısıyla 10 m'lik dikey bir mesafe, su potansiyelinde $0,1 \text{ MPa}$ 'lık bir değişime neden olur (Waring ve Running, 1998; Kacar ve ark., 2002; Taiz ve Zeiger, 2008).

Toprak bilimciler ve fizyologlar genelde referans seviye olarak toprak yüzeyini ya da taban suyunu alırlar. Genelde referans seviyesi suyun hareket yönünde olur ve suyun yükselmesi ile infiltrasyon dikkate alınır. Eğer referans seviyesi çalışma noktasının altında ise, iş su üzerinde yapılır ve yerçekimi potansiyeli pozitif olur. Eğer çalışma noktasının altında ise iş su tarafından yapılır ve dolayısıyla yerçekimi potansiyeli negatif olur (Kirkham, 2005; Kirkham, 2014).

Hücre düzeyinde su taşınımı söz konusu olduğu zaman yerçekimi bileşeni (Ψ_g) genellikle dikkate alınmaz; çünkü osmotik potansiyel ve hidrostatik basınca göre, bu değer ihmal edilebilecek kadar küçüktür (Kacar ve ark., 2002; Taiz ve Zeiger, 2008).

3. Kaynaklar

- Akman, Y., Ketenoğlu, O., Kurt, L., Güney, K., & Tuğ, M. (2004). Bitki ekolojisi. *Palme Yayıncılık, Ankara*, 322.
- Anonim, (2022). US Global Change Research Program, The Global Water Cycle, USGCRP Program Element. Strategic Plan for the Climate Change Science Program Final Report, July 2003. Erişim Tarihi: <https://downloads.globalchange.gov/ocp/ocp2003/ocp2003.pdf> 03.04.2022.
- Aydemir, O., & İnce, F. (1988). Bitki Besleme. *Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Yayınları, Diyarbakır*, 2.
- Bonner, J., & Varner, J. E. (Eds.). (2012). *Plant biochemistry*. Elsevier.
- Bozcuk, S., (2004). Bitki Fizyolojisi. *Hatiboğlu Yayınları, Ankara*, 22.
- Chapin, F.S., Matson, P.A., Mooney, H.A., & Vitousek, P.M. (2002). Principles of terrestrial ecosystem ecology.
- Che, C., Zhang, M., Argiriou, A.A., Wang, S., Du, Q., Zhao, P., & Ma, Z. (2019). The Stable Isotopic Composition of Different Water Bodies at the Soil–Plant–Atmosphere Continuum (SPAC) of the Western Loess Plateau, China. *Water*, 11(9), 1742.
- Çepel, N. (1993). Toprak-Su-Bitki İlişkileri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Üniversite Yayınları, İstanbul*, 3794.
- Çepel, N. (1995). Orman Ekolojisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Üniversite Yayınları, İstanbul*, 3886.
- Brownleader, M.D., Harborne, J.B., & Dey, P.M. (1997). 3 Carbohydrate Metabolism: Primary Metabolism of. *Plant Biochemistry*, 111.
- Gat, J.R. (1980). The isotopes of hydrogen and oxygen in precipitation. In *Handbook of environmental isotope geochemistry*, 1.
- Güneş, A., Alpaslan, M., & İnal, A. (2004). Bitki Besleme ve Gübreleme. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara*, 1539.
- Kacar, B. (1984). Bitki Besleme. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara*, 899.
- Kacar, B., Katkat, V., & Öztürk, Ş. (2002). Bitki Fizyolojisi. *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, Bursa*, 198.
- Kang, D. (1999). Simulation of the water cycle in Biosphere 2. *Ecological Engineering* 13, 301-311.
- Kantarci, D. (2000). Toprak İlmi. *Orman Fakültesi Üniversite Yayınları, İstanbul*, 4261.
- Kimmins, J. P. (1997). Forest ecology a foundation for sustainable management. *Vancouver, The University of British Columbia*, 511-518.
- Kirkham, M. B. (2014). *Principles of soil and plant water relations*. Academic Press.
- Kocataş, A. (1999). Ekoloji, Çevre Biyolojisi. Beşinci Baskı. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, İzmir*, 51.
- Kramer, P. J. (1969). Plant and soil water relationships: A modern synthesis. *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*.
- Kübert, A., Paulus, S., Dahlmann, A., Werner, C., Rothfuss, Y., Orłowski, N., & Dubbert, M. (2020). Water stable isotopes in ecohydrological field research: Comparison

- between in situ and destructive monitoring methods to determine soil water isotopic signatures. *Frontiers in plant science*, 11, 387.
- Lambers, H., & Oliveira, R. S. (2019). Plant water relations. In *Plant physiological ecology* (pp. 187-263). Springer, Cham.
- Arkebauer, T.J. (2000). Physicochemical and Environmental Plant Physiology. *Crop Science*, 40(3), 847-847.
- Odum, E.P., & Barret, G.W. (2008). Ekolojinin Temel İlkeleri. *Palme Yayıncılık, Ankara*.
- Öztürk, M. A., & Seçmen, Ö. (2004). Bitki Ekolojisi. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İzmir*, 141.
- Passioura, J.B. (1980). The transport of water from soil to shoot in wheat seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 31, 333–345.
- Schlesinger, W.H. (1997). Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. *Academic Press, San Diego, CA*
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2008). Bitki Fizyolojisi. *Palme Yayıncılık, Ankara*.
- Thorne, D.W., & Peterson, H.B. (1954). Irrigated Soils. Their Fertility and Management. *The Blakiston Company, USA*.
- Waring, R.H., & Running, S.W. (1998). Forest Ecosystems. Analysis At Multiple Scales. *Academic Press, USA*.
- Wisler, C.O., Brater, E.F., (1959). Hydrology. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., London: Chapman & Hall, Limited. Library of Congress catalog card Number: 59-14981. Printed in the USA.
- Yeşilsoy, M. S., Aydın, M., (1991). Toprak Fiziği. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No:124.
- Yeşilsoy, M. Ş., (2002). Toprak Bitki Su İlişkileri. 2. Baskı. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi genel Yayın No: 94. Ders Kitapları Yayın No: A-23.