

SİS HASADI

Sinan ÖZCAN

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Dr. Öğr. Üyesi Mine PAKYÜREK

Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü (Sorumlu Yazar)

ÖZET

Dünyada son yıllarda yaşanan nüfus artışı ile birlikte yoğunlaşan sanayi sektörü, tarımsal faaliyetler ve iklim değişiklikleri gibi küresel stres senaryoları tatlı su kaynakları üzerinde nitelik ve nicelik açısından olumsuz etkilere neden olmaktadır. Günümüzde bu sebeple giderek azalan ve kötüleşen tatlı su kaynaklarına çözüm olabilecek alternatif tatlı su kaynaklarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sisten su elde etmek esasına dayalı bir yöntem olan sis hasadı bu noktada dikkat çeken alternatif tatlı su üretim tekniklerinden biridir. Bu sistemler sis varlığının doğal olarak yüksek olduğu kıyı ve dağlık bölgelerde kurulmaktadır. Sistemin çalışma prensibi sis toplayıcı bir panelin içinden sisin geçmesi ve bu panelin içinde bulunan ağlar tarafından sis suyunun toplanması esasına dayanmaktadır. Sis toplayıcı ağ doğrudan atmosfere maruz kalmakta ve sisli hava rüzgar yoluyla ağdan içeriye doğru itilmektedir. Sis damlacıkları ağ üzerinde yakalanarak daha büyük damlacıklar haline gelip bir depolama tankına aktarılır ve orada toplanır. Sis suyu toplama oranları bölgeden bölgeye önemli ölçüde değişiklik göstermekle beraber sis damlacıklarının toplanması damlacıkların çapına, rüzgar hızına ve toplama yüzeyinin yapısına bağlı olmaktadır. Sistemin başarısı ise en çok sis toplama kafesinin yapısı ve çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Bu sistemlerde toplanan sis suyu miktarı ve kalitesine bağlı olarak sis hasadına yönelik projelerin sürdürülebilirliği de günümüz araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu derleme makalesi, sis suyu hasadı için mevcut model ve tasarımları tespit etmek ve dünya genelinde sürdürülebilir bir tatlı su kaynağı olarak sis hasadının hangi parametrelere dayandığını araştırmak amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir su kaynağı, sis toplayıcılar, su kıtlığı, kuraklık.

FOG HARVEST

ABSTRACT

Global stress scenarios such as the industry sector, agricultural activities and climate changes, which have intensified with the population increase in the world in recent years, have negative effects on fresh water resources in terms of quality and quantity. Today, there is a need for the development of alternative fresh water sources that can be a solution to the decreasing and deteriorating fresh water sources. Fog harvest, which is a method based on obtaining water from the fog, is one of the alternative fresh water production techniques that attract attention at this point. These systems are installed in coastal and mountainous areas where the presence of fog is naturally high. The principle of operation of the system is based on the fog passing through a fog collecting panel and collecting fog water by the nets inside this panel. The fog collector network is exposed directly to the atmosphere, and the foggy air is pushed through the network through the wind. The fog droplets are captured on the net, becoming larger droplets, transferred to a storage tank and collected there. Although fog water collection rates vary significantly from region to region, the collection of fog droplets depends on the diameter of the droplets, the wind speed and the structure of the collection surface. The success of the system mostly depends on the structure and type of the fog collecting cage. Depending on the amount and quality of fog water collected in these systems, the sustainability of projects for fog harvesting is among the current research topics. This review article has been prepared to determine existing models and designs for fog water harvesting and to investigate which parameters fog harvest is based on as a sustainable fresh water source worldwide.

Keywords: Sustainable water source, fog collectors, water scarcity, drought.

1.GİRİŞ

Artan nüfus yoğunluğu ile ekonomik büyümenin beraberinde getirdiği tüketim ve yaşam alışkanlıkları sonucu iklim ve yağış modellerinde meydana gelen değişim dünyadaki tatlı su ihtiyacını giderek artırmaktadır. Yakında tüm gerçekliği ile etkili olmaya başlayacak olan global ölçekli tatlı su kaynağı ihtiyacı sebebiyle dünya nüfusunun neredeyse üçte birinin su kıtlığı ile karşı karşıya olduğu tahmin edilmektedir (Kummu ve ark., 2010). Bu sebeple

günümüzde küresel su kaynaklarının korunması ile tatlı suyu toplayıcı ve dağıtıcı alternatif sürdürülebilir teknolojilerin araştırılması zorunlu bir hale gelmiştir.

Atmosferik sis, dünyadaki tüm tatlı suyun yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. (Mekonnen ve Hoekstra, 2016). Bu nedenle küresel su kaynaklarını korumak ve konvansiyonel kullanımla aşırı biçimde sömürülen tatlı su kaynakları üzerindeki stresi azaltmak için sis suyu hasadı umut verici bir çözümdür. Sis hasadı; özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunan birçok kırsal kesimde temiz su sağlayan, pasif, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir teknolojidir. Sis suyu toplamak için en yaygın kullanılan teknoloji, rüzgar akışına dik olarak yerleştirilmiş dikdörtgen şeklinde bir ağ olan büyük sis toplayıcı panelden oluşmaktadır. Sis toplayıcısı, sisli bir ortama maruz kaldığında rüzgar tarafından taşınan su damlacıkları ağa doğru itilip sıkışmaktadır. Art arda gelen sis darbelerinden oluşan su damlacıkları yerçekimi ile yere düşecek kadar büyük olana dek birleşerek büyümekte ve bir oluk vasıtasıyla bu şekilde biriken sis suyu bir tankta toplanmaktadır (Klemm ve ark., 2012). Birçok araştırmacı, köylerin ve küçük kasabaların ağaçlandırma projeleri ve habitat bakımında gerekli olan su ihtiyacını karşılamak için sisten yeterli su eldesinin mümkün olduğunu gösteren araştırmalar yapmıştır (Schemenauer ve Cereceda, 1991; Domen ve ark., 2014; Sharma ve ark., 2016; Harb ve ark., 2016; Regalado ve Ritter, 2019; Feng ve ark., 2020).

Hidrofobik ve hidrofilik yüzey yapılarına dayanan havadan su toplayıp depolayarak temiz ve güvenli içme suyuna dönüştüren sis hasadının önemi günümüzde giderek artmaktadır. Sis hasadı, ülkemizde özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesi gibi az yağış alan yörelerde sürdürülen tarımsal faaliyetlerde içme suyu kalitesinde sulama suyu elde etmek için geniş uygulama alanı bulabilecek bir yöntemdir. Sis oluşum potansiyeli yüksek olan alanlarda yürüttükleri tarımsal faaliyetlerde alternatif tatlı su kaynağı sağlamak isteyen ülkemiz üretici ve araştırmacıları için faydalı olabileceği düşünülen bu derleme makalesi, şimdiye kadar yapılmış çalışmalar ışığında sis suyu hasadı için kullanılan mevcut sistemlerin tasarımlarını incelemek, bu sistemlerin nasıl çalıştığını ve kullanıldığını araştırmak amacıyla yapılmıştır.

2. GELİŞME

2.1. Su Kıtlığı

Birleşmiş Milletlere bağlı UNESCO'nun hazırladığı 2019 yılı Dünya Su Raporuna göre iki milyar insan temiz su kaynaklarına düzenli bir şekilde erişim sağlayamamaktadır. 4,3 milyar insanın ise evlerinde sıhhi tesisat bulunmazken, bu toplumlar suyu doğa da var olan haliyle



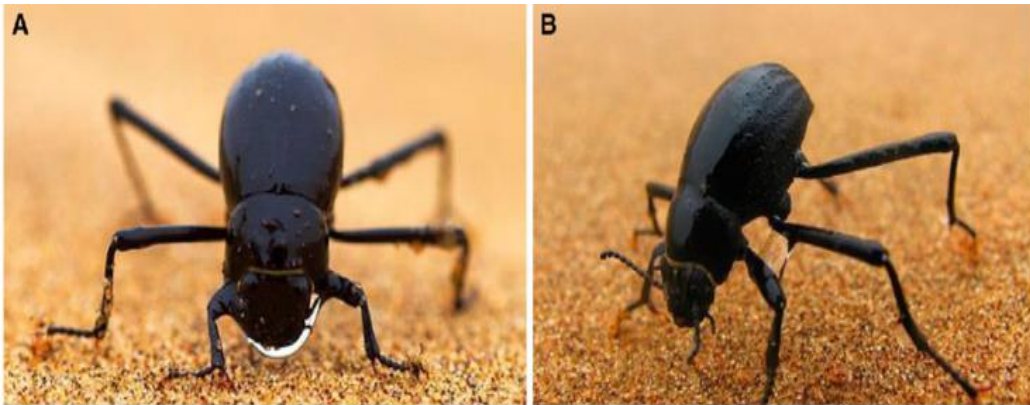
tüketmektedir. Su kaynaklarının kısıtlı olması ve artan çevre kirliliği nedeniyle 2050 yılına kadar bu sayının daha da artması beklenmektedir (Anonim, 2020a). Türkiye’de ise kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı dikkate alındığında ülkemiz de ileride su kıtlığı yaşayacak bir ülke olarak değerlendirilmektedir. Yapılan araştırmalara göre bugün 1.519 m³ olan kişi başına düşen su miktarının, 2030 yılında 100 milyona ulaşacak olan nüfus ile 1.100 m³’e düşeceği ve ülkemizin su fakiri bir ülke olacağı ön görülmektedir (Anonim, 2020b).

ABD’ye bağlı bir kuruluş olan Dünya Kaynakları Enstitüsü’nün hazırladığı son Su Raporu’na göre ise dünya nüfusunun neredeyse dörtte birinin su kıtlığı riski ile karşı karşıya olduğu belirtilmektedir. Küresel ısınmanın su stres riskini daha da artırdığı önemle vurgulanan söz konusu raporda tatlı su kaynaklarının hızlı bir biçimde tükendiği uyarısı yapılmakta ve en fazla su kıtlığı riski yaşayan 17 ülkede ise tatlı su kaynaklarının %80 oranında tükenmiş olduğu bildirilmektedir. Su kıtlığı riski listesinin ilk beş sırasında Katar, İsrail, Lübnan, İran ve Ürdün bulunmaktadır. Bununla beraber Türkiye su stresi yaşayan 164 ülke içinde 32. sırada yer almaktadır (Anonim, 2019). Su kıtlığına bağlı dünya stres senaryoları iklim dışında kötü yönetim ve iç savaşlar gibi birçok faktörle de ilişkilidir. Bununla birlikte yerel yönetimlerin asgari derecede etkili ve su kaynaklarının bol olmasına rağmen bölgede yoğun nüfus varsa su stresi yaşanması durumu muhtemel kabul edilmektedir. Bu durum, özellikle Asya'nın bazı bölgeleri, Hint Yarımadası ve Çin'in doğu eyaletleri için geçerli olup yeryüzünde bulunan temiz su kaynaklarına ulaşmanın zorlaşması sürdürülebilir tekniklerin geliştirilmesini teşvik etmektedir (Morichi ve ark., 2018).

2.2. Sis

Sis, havadaki su buharının yoğunlaşması sonucu meydana gelen havada asılı bulunan su damlacıklarıdır. Sis damlacıklarının çapı 1 ile 50 µm arasındadır (Ritter ve ark., 2008) ve bu damlacıklar karada veya denizde buharlaşma yoluyla kaybedilen sudan oluşmaktadır. Sis, küresel su döngüsünün doğal bir parçasıdır. Bunun sonucunda buharlaşan su karada veya denizde nemli hava kütleleri oluşturmaktadır. Sis, genellikle nemli havanın oluşturduğu daha sonra rüzgârla kıyıya doğru yönlendirilen alçak irtifa bulutları vasıtasıyla okyanus üzerinde meydana gelmektedir (Hiatt ve ark., 2012). Radyasyon sisi, soğutma zemininin üzerinde bulunan havadaki su buharının yoğunlaşmasına neden olduğu için gece boyunca meydana gelmektedir (Straub ve ark., 2012). Sis türünden bağımsız olarak sis oluşumunun meydana gelmesi için sıcaklığın çığ noktasının altına düşmesi ve beraberinde nemli bir hava olması gerekmektedir. Yüksek çığ noktası sıcaklıkları, yüksek nem ve yüksek alanlar gibi çevresel

koşulların sis oluşumunu desteklediği bilinmektedir. Jeolojik faktörler nedeniyle sis oluşumu genellikle sahil yakınındaki dağlık alanlar arasında en yüksektir. Sis, dünyadaki birçok kıyı ekosisteminde canlılar için yaşamsal bir nem kaynağıdır (Dawson, 1998). Kaliforniya'nın sekoya ormanlarının egemen olduğu kıyı su havzalarında, toplam yıllık su girdisinin yaklaşık %34'ünün sekoya ağaçlarından çıkan sis damlalarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Sekoya ağacı, yağış miktarının ayda 240 ila 25 mm'den daha az olabileceği yaz aylarında gelişen bir araç olarak sis suyu toplamaya adapte olmuştur. Sıcak yaz aylarında, sekoyalar $600 \text{ L m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ neme ihtiyaç duymakta ve bu nemin de %40'ı sisten oluşmaktadır. Örneğin; Şili'deki yarı kurak bölgelerin dağlık alanlarına hakim olan kıyı yağmur ormanlarında oluşan sis suyu ekosistemlerin sürdürülebilir olmasına katkı sağlamaktadır. Bu ormanlık alanlar yıllık olarak sadece çalılırları desteklemeye yetecek kadar bir yağış miktarı olan 147 mm yağış alırken, sis suyu yıllık olarak 200 mm kadar su sağlamakta ve yağmur ormanlarının gelişmesine olanak sağlamaktadır. Bu tür iklimlerde ormanlık alanlar rüzgar ve sis yönüne doğru büyüme eğilimindedir ve bu da orman ekosisteminin büyümesinde sistemin önemini göstermektedir (del-Val ve ark., 2006). Yapılan bir araştırmada, yıl boyunca hiç yağış olmayan dünyanın bazı bölgelerinde bitkiler ve hayvanların sis suyu toplayarak hayatta kaldıkları tespit edilmiştir. Bunlardan Namib Çölü *Stenocara* böcekleri, yıllık 12 mm gibi az yağış alan bir alanda sırtından damlayan sis suyunu toplayarak yaşamaya adapte olmuştur (Henschel ve Seely, 2008; Domen ve ark., 2014). Şekil 1'de gösterildiği gibi böceğin arkası, ortamdaki sis suyunun toplanmasına ve sonrasında oluşturduğu çarpma hareketi ile böceğin ağızına doğru akan kanallar boyunca suyun boşaltılmasına hizmet eden pürüzsüz hidrofilik yumrularla kaplı hidrofobik bir yüzeyden oluşmaktadır (Parker ve Lawrence, 2001).



Şekil 1. *Stenocara* Böceğinin (*Onymacris unguicularis*) Sis Yakalama Davranışı

Norgaard ve arkadaşlarının (2012) böcek, çimen ve metal kablonun sis toplama kapasitesini inceledikleri çalışmada, Şekil 2’de gösterilen Namib Dune Bushman çimeni (*Stipagrostis sabulicola*, Poaceae) kullanılmıştır. Çalışmada deneyde kullanılan objelerin üst yüzey alanında toplanan mm² başına düşen sis suyu miktarı ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre böcek yoluyla 0.25±0.08 µl/mm², çim yoluyla 0.48±0.20 µl/mm² ve metal kablo yoluyla da 0.61±0.20 µl/mm² sis toplanmıştır (p<0.01). Yapılan araştırmalar doğanın hem geçerli bir tatlı su kaynağı olarak sis suyu toplanması için örnek bir duruş sergilediğini hem de insan eliyle yapılacak sis toplama sistemleri için olası tasarımlara ilham kaynağı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Namib Dune Bushman Çimeni (*Stipagrostis sabulicola*)

2.3. Sis Hasadı Sistemleri

Yüksek rakımlı alanlarda oluşan sis, deniz seviyesinde oluşan sisten daha yüksek su içeriğine sahip olma potansiyelindedir. Bunun nedeni yüksek rakımda esen rüzgarın hızıdır. Yüksek rakımda meydana gelen sis, kurak ve yarı kurak topraklarda alternatif tatlı su üretimi için büyük öneme sahiptir. Kurak ve yarı kurak kıyı bölgelerinde meydana gelen sis, sis toplayıcısı olarak bilinen basit ve düşük maliyetli bir toplama sistemi kullanılarak hasat edilirse bu bölgeler için alternatif tatlı su kaynağı oluşturulabilmektedir.

Sis suyunu toplamak uygun maliyetli bir teknolojidir. Bugüne kadar yapılan araştırmalarla birçok sis hasadı tekniği geliştirilmiştir ve sis toplayıcı sistem kurulmadan önce sistemin pilot

ölçekli bir değerlendirmesinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sayede sis hasadı yapan bir toplayıcının hızını; rüzgar hızı, sis sıvı su içeriği (Liquid Water Content-LWC), sis damlacıklarının boyut dağılımı ile ağ malzemesinin boyutu ve yapısı belirlemektedir. Çünkü en uygun kurulum yerini belirlemek için bu tür parametreler iyi hesaplanmalıdır. Bununla beraber çoğunlukla sistem içine atmosfere maruz kalacak şekilde bir ağ konulmakta ve rüzgar tarafından sis bu ağa doğru itilmektedir. Bu sayede sis damlacıklarının bir kısmı ağa çarparak ağ malzemesi üzerinde birikmektedir. Giderek daha fazla sis damlacığı toplanarak daha büyük damlacıklar oluşturmakta ve böylelikle oluşan damlacıklar ağ malzemesinden oluklara aktarılacak suretiyle bir depolama tankında birikmektedir. Büyük toplayıcılar genellikle 12 m uzunluğunda ve 6 m yüksekliğindedir. Sis toplayıcı sistem tasarımlarında toplayıcı panelin boyut ve şekli ile kullanılan örgü malzemesi bakımından farklılıklar olabilmektedir (Batisha, 2015)

Standart sis toplayıcı (Standart Fog Collector-SFC) esas olarak keşif çalışmalarında belirli alanlarda toplanabilecek sis suyu miktarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu düz örgü panelin yapısı ve kullanımı Schemenauer ve Cereceda (1994a) tarafından yapılan çalışmada ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Standart sis toplayıcıda (SFC) $1 \times 1 \text{ m}^2$ panel yüzeyi zeminden 2 m yukarıda ve sis oluşumu ile ilişkili rüzgar yönüne dik olarak monte edilmektedir. Şimdiye kadar yaklaşık 40 ülkede sis akışlarını ölçmek için kullanılmıştır. Büyük sis toplayıcı da (Large Fog Collector-LFC) sis hasadı için yaygın olarak kullanılmaktadır (Schemenauer ve Cereceda 1994b). Kuruluş prensibi SFC ile aynıdır; ancak çok daha büyüktür. Genellikle bu sistemin panelini oluşturan ağ 4 m yükseklik ve 10 m genişlikte olmaktadır. Ağın bağlı kenarı ile birlikte alt kenarı sis toplama hızını arttırmak için yerden mümkün olduğunca yüksek olmalıdır (tipik olarak 2 m). SFC sistem tasarımında kafes sert bir çerçeve üzerine gerilmektedir. LFC sistemde ise kafes iki dikey direk arasında sıkıca gerilmiş kablolardan yapılmış bir çerçeve ile desteklenmektedir (Şekil 3). İstenen su kaynağına bağlı olarak genellikle birden fazla kolektör kullanılmaktadır. Çoğu durumda sistemlerin sis toplama oranlarının $1 \text{ ila } 10 \text{ L m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ arasında değiştiği; ancak bazı bölgelerde $40 \text{ L m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ 'e kadar yükseldiği bilinmektedir (Schemenauer ve Cereceda, 1994a).



Şekil 3. İspanya’da kurulmuş bir LFC sis toplayıcı sistem

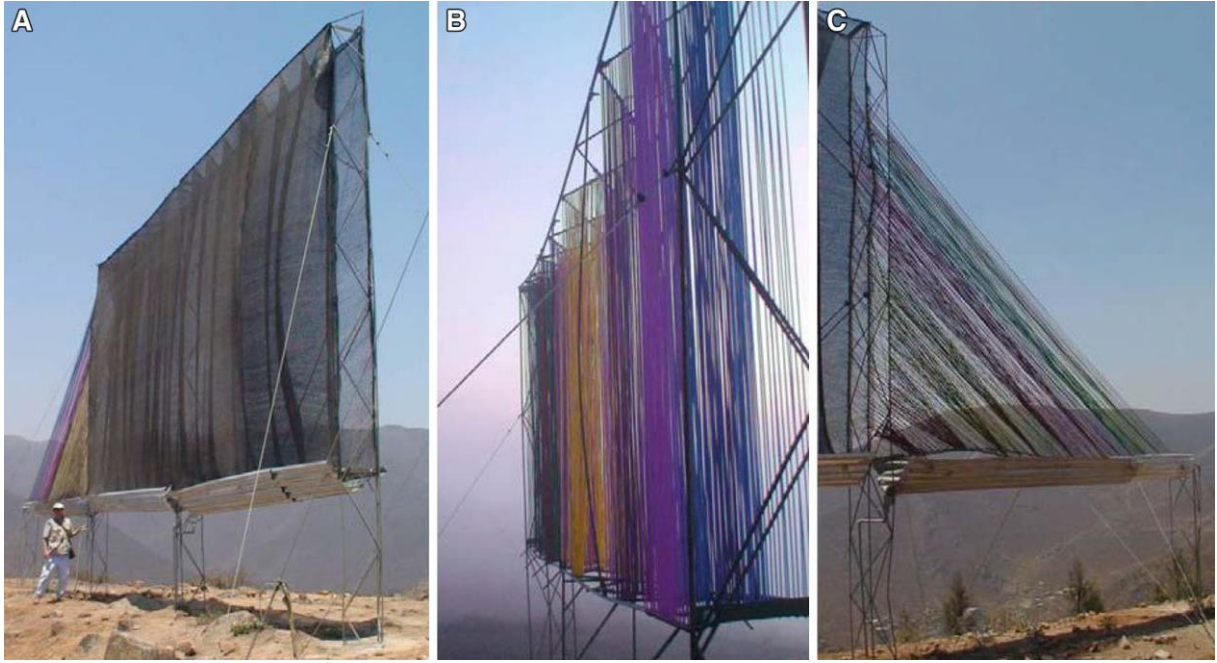
Şili’de üretilen Raschel gölge ağı malzemesi dünyadaki birçok sis toplama sisteminde kullanılmaktadır. Şekil 4’te gösterilen ağ tipleri gıda tüzüğüne uygun güvenli polietilen malzemenin üretilmiş olup sis damlacıklarının toplanmasında etkili olan bir lif genişliğine sahiptir. Dokuma, suyun hızlı bir şekilde akmasını sağlayan dikey olarak gerilmiş üçgenlerden oluşmaktadır. Ayrıca kullanılan ağ yapısı çift katmanlıdır; çünkü iki katmanın birbirine karşı hareketi toplanan suyun akmasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4. Sis toplama panelinde kullanılan farklı ağ tipleri

Raschel ağ beş kıtada ve 35 ülkede yıllardır başarıyla uygulanmıştır. Sis toplama uygulamalarından SFC ve LFC sistemlerde panel ağ çift katmanlı olarak kullanılmaktadır. Şekil 4'te sadece bir katman gösterilmiştir. Şekil 4'te ortada bulunan panel, polietilen malzeme ile örülmüş paslanmaz bir ağ olup sağlam bir yapıya sahiptir. Sağda bulunan panel, polietilen malzemenin üç boyutlu net yapısının (1 cm kalınlık) yeni önerilen tasarımını göstermektedir. Kafes toplama hızları ve teknik performans hakkında henüz genel bir karşılaştırma yapılmamıştır. Gösterilen ağ bölümlerinin kenar uzunlukları 6.5 cm'dir (Klemm ve ark., 2012). Zorlu koşullarda muhtemelen farklı ağ malzemesi veya kolektör tasarımının kullanılması yarar sağlayabilmektedir. Çeşitli ağ materyalleri test edilmiştir (Shanyengana ve ark., 2003). Çok rüzgarlı yerler için SFC ve LFC sistemler dışındaki kolektör tasarımları poli malzeme ile birlikte örülmüş daha güçlü, paslanmaz ağa sahip daha sağlam malzemeler test edilmiştir. Sis oluşumu ile ilişkili benzersiz bir rüzgar yönünün olmadığı nispeten nadir durumlarda söz konusu ağ malzemelerinin üç boyutlu (3D) yapısı avantajlı olabilmektedir.

Tam ölçekli sis toplayıcıların nispeten basit tasarımı nedeniyle kullanımı ve bakımı kolay olmaktadır. Sistemin periyodik bakımı başarılı çalışması için hayati öneme sahiptir. Bakım işlemi, telleri incelemek ve sıkmak, ağdaki herhangi bir yırtılmayı incelemek ve yamamak, ağ ve toplama sisteminin çöp, kir veya yosun oluşumundan arındırılmasını sağlamak, rezervuarları ve dağıtım sistemlerini incelemeyi içermektedir. Sistemin yıllık işletim maliyeti; yerel işçilik maliyetine, sis toplayıcı sayısına ve gereken onarımlara bağlı olarak değişebilmektedir (Lummerich ve Tiedemann, 2011; Klemm ve ark., 2012). Sis kolektörlerinin tasarımı ve uygulaması çok az değişmiş olsa da SFC sisteminin piyasaya sürülmesinden bu yana yeni tasarımların etkinliğini belirlemek için pilot çalışmalar yapılmıştır. Bu pilot çalışmalardan üç prototip tasarımı Şekil 5'te sunulmuştur. "Eiffel" (Şekil 5a) kolektörü, 8 m x 4 m %50 gölge katsayısı Raschel ağ 0.3 m aralıklı iki katman arasına çapraz olarak bağlanmış, 10 örgü şeridi içerecek şekilde paralel rüzgarlarla üflenen sisin toplanmasında daha verimli olan üç boyutlu bir yapıdan oluşmaktadır. "Arp" (Şekil 5b) ve "Diyagonal Arp" (Şekil 5c) kolektörlerinin her ikisi de 2 m x 4 m x 0.3 m metal çerçeveden oluşturulmuş ve 2.256 m 1.5 mm kauçuk tellerle dikey olarak monte edilmiştir. "Arp" toplayıcı ve "Diagonal Arp" toplayıcı için çapraz olarak yerleştirilmiş 1.520 m 1.5 mm lastik teller kullanılmıştır. Bu teller, "Arp" ve "Diyagonal Arp" toplayıcılarının her yöne esen rüzgarlardan sis toplamasına izin verirken, sistemlerden sırasıyla 62.7 ve 28.6 L m⁻²gün⁻¹ değerlerinde su verimi alınmıştır (Lummerich ve Tiedemann, 2009).



Şekil 5. Pilot sis toplama tasarımları: **A)** “Eyfel” **B)** “Arp” **C)** “Diyagonal Arp”

“Eiffel” toplayıcının, sis toplama için ideal koşulları olan alanlar sınırlı olduğu için maliyetinden çok birim alan başına basitlik, tekrarlanabilirlik, sağlamlık ve yüksek su verimine dayalı olarak en iyi tasarım olduğu belirlenmiştir (Lummerich ve Tiedemann, 2009). Peru’da sahil eteklerinde yapılan bir çalışmada Eiffel ve SFC sis toplama sistemlerinin verimliliği karşılaştırılmıştır. Her iki kolektör de 8m x 4m aynı toplama çerçevesini (32 m²) kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir. Eiffel sis toplama mekanizması SFC sistemine göre 6 kat daha fazla su toplamıştır (Tiedemann ve Lummerich, 2010).

Hem SFC hem de LFC sistemleri yağmuru verimli bir şekilde toplayabilir, bu sebeple su verimleri bazı iklim ve bölgelerde yağmur suyu da içerebilmektedir. Başka bir önemli nokta ise sis toplayıcılarının yerden yüksekliğidir. Bir kurulum ne kadar yüksek olursa verim de o kadar yüksek olmaktadır. Bu durum, yüksek yerlerde oluşan siste sıvı su içeriğinin (LWC) fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Sistemlerde veri kalitesi kontrol prosedürleri ve belirsizlikleri genellikle rapor edilmemektedir. Bu belirsizlik, çeşitli bölgelerdeki sis toplama oranlarının karşılaştırılmasını sınırlamaktadır (Klemm ve ark., 2012).

Örneğin; Nepal’de yıl boyunca sürekli sis bulunmayan bir bölgede sis suyu hasadı artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut yağmur suyu kaynaklarını desteklemenin bir yolu olarak görülmüştür (Karkee, 2005). Ülkenin neredeyse % 30’u güvenli içme suyuna erişemediği için kişi başına hedeflenen günlük su kullanımının 15 L olduğu yüksek sis frekansına sahip bir

bölgede iki sis suyu toplama sistemi pilot olarak çalıştırılmıştır. 12 m² panele sahip sis toplayıcısının en az 12 m² alanlık mevcut çatı üstü yağmur suyu toplama sistemleri ile birlikte, 6.75 L m⁻²gün⁻¹ değerinde su elde edildiği belirlenmiştir.

2.4. Sis Suyu Kalitesi

Sis toplayıcılar tarafından toplanan su, hem çevredeki alanın hava kalitesinden hem de ağ üzerindeki parçacık birikiminden etkilenmektedir. Genel olarak, sis suyunun bulunduğu hava kalitesi insan faaliyetlerinden etkilenen yüksekliklerde olduğu için meydana gelen damlacık oluşturma işleminden dolayı yağmur suyundan daha yüksek oranda çözünebilir partikül konsantrasyonuna sahiptir. Sis suyu kalitesi kentsel ve endüstriyel emisyonlardan etkilenmektedir. Ağda, kuş pisliği, toz, böcek veya yosun gibi parçacık birikimi elde edilen sis suyunu kirletebilirken, sis oluşumuna uzun bir süre ara verildikten sonra oluşan ilk sis suyunun materyalin kendini yıkamasına ilişkin sistematik bir yaklaşım rutin bakım ile birlikte ortadan kaldırılabilmektedir (Klemm ve ark., 2012). Sis sularındaki tipik kirletici maddeler arasında düşük seviyelerde toplam çözünmüş katı madde, kalsiyum, sodyum, klorür ve bikarbonat bulunmaktadır. Bununla birlikte dünyada tam ölçekli sis suyu hasat ürünlerinin çoğu Dünya Sağlık Örgütü tarafından içme suyunda bulunan iyonlar ve ağır metaller için belirlenmiş standartları karşılamaktadır. Ancak bazı durumlarda düşük pH değerleri ile yüksek düzeyde demir ve nitrat içeriği de ortaya çıkmaktadır (Abdul-Wahab ve ark., 2007).

2.5. Sürdürülebilirlik

Sistem doğru bir şekilde kurulduktan sonra sistemin işletme ve bakımı daha basit süreçlerdir. Bununla birlikte bu teknolojinin sürdürülebilirliğinde önemli bir faktör bazı işlemleri içermesi gereken rutin bir kalite kontrol programının oluşturulmasıdır. Sistemin verimli çalışması verimliliğinde kaybı ve yapısal hasarı önlemek için ağlar ile kabloların gerginlikleri kontrol edilmelidir. Toz, birikinti ve alglerin giderilmesi için ağ, drenaj ve boru hatlarının bakımı yapılmalıdır. Mantar ve bakteri birikmesini önlemek için depolama tankının veya sarnıcın bakımı yapılmalıdır. Yerel olarak yedek parça bulunmadığında özellikle uzak dağlık bölgelerde yerel tedarik kısıtlı olabileceğinden bir ağ ve diğer bileşen stoğunun yedekte tutulması önerilmektedir (UNEP, 1997). Bunlarla beraber bir sis toplama sisteminin sürdürülebilirliği sahanın bulunduğu dağın içinden akan bulutların sürekliliğine bağlıdır. Bununla beraber sis suyu hasadı için en verimli koşullar, rüzgarın bulutları yer yüzeyi üzerinde hareket ettirdiği bulut tabanı yüksekliğinde (dağlar gibi) bulunmaktadır. Buna karşılık, vadilerdeki radyasyon sisleri veya sahildeki deniz sisleri daha az üretken olarak kabul edilmektedir. Bunun nedeni

buralarda karşılaşılan düşük rüzgar hızı ve düşük sis sıvı su içeriğidir. Beraberinde yetersiz teknoloji veya düşük maliyetli teknoloji kullanımı da üretimi azaltmaktadır. Bulut tabanı yüksekliğindeki küçük değişiklikler sis toplama düzenekleri için bir sorun teşkil etmemektedir; çünkü sistemler için dağ yamaçlarında sisli bölgenin içi seçilmiştir ve ihtiyaç duyulması halinde toplayıcıların yerini değiştirmek zor değildir. Mevcut sis hasat sistemleri iki ana amaç için uygulanmaktadır. İlki; kırsal topluluklara ve ev gruplarına Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartlarını karşılayan nitelikte tatlı su teminidir. İkincisi ise geleneksel kaynaklardan su elde edilemediği durumlarda ağaçlandırma ve habitat bakımı için su sağlanmasıdır (Schemenauer ve ark., 2015)

Bu projelerden genellikle su kıtlığı yaşayan ülkelerdeki yoksul aileler yararlanmaktadır. Bununla beraber sis toplama, su elde etmek için geleneksel olmayan bir yöntem olduğundan bir projeye başlamadan önce iki önemli adım gerçekleştirilmelidir. İlk adım olarak eğitim programları düzenlenmelidir. Sistemin hem avantajları hem de dezavantajları anlatılmalı, su kullanma yaklaşımlarının nasıl değişmesi gerektiği net bir şekilde açıklanmalıdır. Yerel nüfusun su uygulamaları hakkındaki kararlara katılması, sistemin yapımına katılması ve yapabildikleri ölçüde sistemin bakım ve işletimini devralması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Yerel nüfusun tam katılımıyla gelecekte kendi kaynaklarını kullanarak sistemin genişletilmesi sağlanmalıdır. Diğer bir nokta; yerel yönetimlerce sis hasat sistemlerinin kabul görmesi için zaman gereklidir. İkinci adım ise sis suyunun toplanması, taşınması, depolanması ve dağıtılması için bir sistem tasarlamaktır. Bu aşamanın maliyeti belirlenmelidir. Bu da büyük ölçüde sahaya erişim, suyun taşınması gereken mesafe ve suyun kullanımına bağlı olmaktadır (Batisha, 2015). Bu iki faktörle beraber sis toplama sistemlerinin başarılı bir şekilde çalışması önemlidir ve toplayıcıların basit sebeplerle arızalanması nedeniyle yöre halkında hayal kırıklığı yaratılmamalıdır. Çünkü böyle arızalar sis toplama fikrine karşı önyargı oluşturabilmektedir. Ortaya çıkan temel problemler, kabloların sıkı tutulması, kalitesiz kabloların kullanılması ve ağın başlangıçta düzgün takılmaması gibi temel bakım eksiklikleridir. Yerel Sivil Toplum Kuruluşlarının (STK) rolü ise hem bu tür sorunları erken tanımlamak hem de iyi kalitede su elde etmek amacıyla uygun ve işlevsel bir köy suyu yönetimi programı sağlamak için köylerdeki eğitim programlarının devamını sağlamaktır (Klemm ve ark., 2012).

3. SONUÇ

Mevcut araştırmalar dünyada yaşanan su kıtlığını azaltmak için canlı formlardan (bazı böcek türleri ve bitkiler gibi) esinlenerek yapılan sis hasadını önemli bir çözüm  nerisi olarak karşımıza çıkarmaktadır. Sis hasadı, dünyanın birçok yerinde sürdürülebilir ve etkili bir alternatif tatlı su kaynağı olarak kabul edilmektedir. Son otuz yılda sis karakterizasyonu, coğrafi tanımlama ve sis toplayıcıların tasarımı konusunda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Mevcut alışmalar ve tam ölçekli uygulamalar teknolojinin hem uygulanabilir hem de sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. İçme suyu ve ağaçlandırma için kullanılan sis suyu hasadı çevreye faydalıdır. Özellikle ağaçlandırma yerel flora ve fauna için yaşam alanı sağlarken, biyolojik çeşitliliği arttırmakta ve erozyonu azaltmaktadır. Ayrıca, ormanların yeniden büyümesi gölgelik katmanlarda doğal sis suyu toplanmasını teşvik etmektedir. Bu da suyu toprağa aktarırken, yerel hidrolojiyi geri kazandırarak yeraltı su kaynaklarını yenilemektedir. Dünyanın farklı yerlerinden sis toplanmasına ilişkin elde edilmiş mevcut veriler, bir sis suyu toplama programını uygulamaya başlamadan önce toplayıcı sistemin pilot ölçekli bir değerlendirmesinin yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylelikle bu pilot çalışmada sis toplayıcının toplama hızı, rüzgar hızı, sis sıvı su içeriği, sis damlacıklarının boyut dağılımı ve ağ malzemesinin boyutu belirlenmelidir. Çünkü sisteme en iyi kurulum yerini belirlemek için bu tür parametrelerin iyi hesap edilmesi gerekmektedir. Sis suyu hasadının mevcut durumu umut verici olmakla birlikte sis toplayıcıların verimliliğini artırmak amacıyla sistem tasarımlarının ve ağ malzemelerinin iyileştirilmesi için konu üzerinde daha fazla araştırma yapılmalıdır. Sis suyu; güvenli, basit, tutarlı ve sürdürülebilir bir tatlı su kaynağı olması sebebiyle günümüzde içme suyu olarak değerlendirilebildiği gibi bizlere tarımsal faaliyetlerde ve ağaçlandırmada içme suyu kalitesinde temiz su olanağı da sunmaktadır. Sis suyu hasadı dünyada halen birçok ülkede kullanılıyor olmasına rağmen ülkemiz için yeni bir yöntemdir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde sis hasadı yönteminin tarımsal üretim faaliyetlerinde uygulanmak üzere üreticilere tanıtılması ve benimsetilmesi doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından çok önem taşımaktadır. Ülkemizde bu konuda tanıtım, araştırma ve proje faaliyetlerinin yapılması hem içme suyu olarak hem de tarımsal sulamada kullanılmak üzere alternatif sürdürülebilir tatlı su kaynağına erişimi sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

- Anonim, 2019. <https://www.wri.org/blog/2019/08/17-countries-home-one-quarter-world-population-face-extremely-high-water-stress>.
- Anonim, 2020a. <https://www.dw.com/tr/2-milyar-insan%C4%B1n-temiz-suyeri%C5%9Fimi-yok/a-47973788>.
- Anonim, 2020b. https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/ayak_izinini_azaltilmasi/su/turkiyesu_zenginibirulkemi/
- Abdul-Wahab, S.A., Al-Hinai, H., Al-Najar, K.A., Al-Kalbani, M.S. 2007. Fog water harvesting: quality of fog water collected for domestic and agricultural use. *Environ. Eng. Sci.*, 24: 446-456.
- Batisha, A.F. 2015. Feasibility and sustainability of fog harvesting. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6: 1-10.
- Dawson, T.E. 1998. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia*, 117: 476-485.
- del-Val, E., Armesto, J.J., Barbosa, O. 2006. Rain forest islands in the Chilean semiarid region: fog-dependency, ecosystem persistence and tree regeneration. *Ecosystems*, 9: 598-608.
- Domen, J.K., Stringfellow, W.T., Camarillo, M.K., Gulati, S. 2014. Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean Technol. Environ. Policy*, 16: 235-249.
- Feng, J., Zhonga, L., Guoa, Z. 2020. Sprayed hierarchical biomimetic superhydrophilic-superhydrophobic surface for efficient fog harvesting. *Chemical Engineering Journal*, 388 (2020) 124283. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124283>.
- Harb, O.M., Salem, M.S.H., Abdel Hay, G.H., Makled, K.H.M. 2016. Fog Water Collection for Agriculture Use (Peanut Irrigation) Under Semi- Arid Region Conditions in North Coast of Egypt. *Adv. Crop Sci. Tech.*, 4(3): 219 (6pp). doi:10.4172/2329-8863.1000219.
- Henschel, J.R., Seely, M. 2008. Ecophysiology of atmospheric moisture in the Namib Desert. *Atmospheric Research*, 87(3-4): 362-368. [10.1016/j.atmosres.2007.11.015](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.11.015)
- Hiatt, C., Fernandez, D., Potter, C. 2012. Measurements of fog water deposition on the California central coast. *Atmos Clim Sci.*, 2: 525-531.
- Karkee, M. 2005. Harvesting of atmospheric water: a promising lowcost technology. In: Ninth international water technology conference. 17-20 March 2005, Sharm Al-Sheikh.

- Klemm, O., Schemenauer, R.S., Lummerich, A., Cereceda, M.V., Corell, D., van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Osses, P., Sarsour, J., Frost, E., Estrela, M.J., Valiente, J.A., Fessehaye, G.M. 2012. Fog as a Fresh Water Resource: Overview and Perspectives. *Ambio*, 41: 221-234. DOI 10.1007/s13280-012-0247-8.
- Kummu, M., Ward, P.J., de Moel, H., Varis, O. 2010. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environ Res Lett.*, 5: 034006 (10pp).
- Lummerich, A., Tiedemann, K. 2009. Fog farming: linking sustainable land management with ecological renaturation in arid areas by means of reforestation. In: Conference on international research on food security, natural resource management and rural development. 6–8 October 2009, Hamburg.
- Lummerich, A., Tiedemann, K. 2011. Fog harvesting on the verge of economic competitiveness. *Erdkunde*, 65: 305–306.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2): e1500323 DOI: 10.1126/sciadv.1500323.
- Morichi, G., Calixto, L.B., Zanelli, A. 2018. Novel Applications for Fog Water Harvesting. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6: 26-36.
- Norgaard, T., Ebner, M., Dacke, M. 2012. Animal or Plant: Which Is the Better Fog Water Collector? *PLoS ONE*, 7(4): e34603. doi:10.1371/journal.pone.0034603.
- Parker, A., Lawrence, C. 2001. Water capture by a desert beetle. *Nature*, 414: 33-34.
- Ritter, A., Regalado, C.M., Aschan, G. 2008. Fog water collection in a subtropical elfin laurel forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): a combined approach using artificial fog catchers and a physically based impaction model. *J. Hydrometeorol.*, 9: 920-935.
- Regalado, C.M., Ritter, A. 2019. On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277 (2019) 107645.
- Schemenauer, R.S., Cereceda, P., 1991. Fog water collection in arid coastal locations. *Ambio*, 20: 303-308.
- Schemenauer, R.S., Cereceda, P. 1994a. A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology*, 33: 1313-1322.
- Schemenauer, R.S., Cereceda, P. 1994b. Fog collection's role in water planning for developing countries. *Natural Resources Forum*, 18: 91-100.

- Schemenauer, R.S., Cereceda, P., Osses, P. 2015. Fog Water Collection Manual, Revised Ed.
- Sharma, V., Sharma, M., Kumar, S., Krishnan, V. 2016. Investigations on the fog harvesting mechanism of Bermuda grass (*Cynodon dactylon*). *Flora*, 224: 59-65.
- Shanyengana, E.S., Sanderson, R.D., Seely, M.K. Schemenauer, R.S. 2003. Testing greenhouse shade nets in collection of fog for water supply. *Journal of water supply: research and technology. Aqua*, 52: 237-241.
- Straub, D.J., Hutchings, J.W., Herckes, P. 2012. Measurements of fog composition at a rural site. *Atmos Environ.*, 47: 195-205.
- Tiedemann, K.J., Lummerich, A. 2010. Fog harvesting on the verge of economic competitiveness. In *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*. 25-30 July, 2010, Münster, Germany. 192.
- UNEP, 1997. *Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Countries in Asia*, UNEP, Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat, Organisation of American States, Washington, D.C