

## HAVADAN SU ÜRETİM TEKNİKLERİ

**Mahmut ÖZTURAN<sup>1</sup>, Ahmet Korhan BİNARK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, İSTANBUL

[mhmtztrn@hotmail.com](mailto:mhmtztrn@hotmail.com); [akorhan@marmara.edu.tr](mailto:akorhan@marmara.edu.tr)

### Özet

Günümüzde dünya nüfusunun yarısından fazlası temiz su sıkıntısı çekmekte ve bu sıkıntı sonucu oluşan sağlık sorunları, dünyada en önemli sağlık sorunlarından birisi durumunda bulunmaktadır. Su kaynaklarının yetersizliği tarım için de büyük sıkıntı oluşturmaktadır. Sulanan araziler toplam ekili arazinin %20'sini oluşturmakta ve yıllık dünya su tüketiminin %72'sine karşılık gelmektedir. Her gün  $23 \times 10^6 \text{ m}^3$  su, çeşitli tuzlu su arıtma yöntemleri ile üretilmektedir. Bu üretimin büyük çoğunluğunda fosil yakıtlar kullanılmakta, sadece %0,02'lik bir kesiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu da sera gazı salınımını arttırmaktadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı, havadaki nemi yoğunlaştırma prensibine dayalı sistemler de bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde geçen, havadan su üretme amacıyla son yıllarda tasarlanmış veya simüle edilmiş çeşitli sistemler incelenerek açıklanmıştır. Bu sistemlerin bir kısmı, nemlendirme-nem alma prensibine dayalı olarak tasarlanmış; diğer bir kısmı ise, absorpsiyon veya adsorpsiyon sağlayarak havadaki nemi çıkaran malzemelerin kullanıldığı ünitelerle, ortam havasından su elde edecek şekilde tasarlanmış sistemlerdir. Bu sistemler aracılığı ile elde edilen su, içme suyu olarak veya sulama amaçlı kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Havadan Su Üretim Teknikleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları*

### Abstract

Nowadays, more than half of the world's population is experiencing water shortages, and clean drinking water is one of the most important international health issues today. The shortage of the water sources causes a problem for agriculture too. Today's irrigated lands constitute 20% of the total cultivated area and consume 72% of the annual world water withdrawal. Each day,  $23 \times 10^6 \text{ m}^3$  water is produced by different desalination systems. The majority of this production is supplied by fossil fuels, only 0.02% is based on renewable energy. This fact contributes to the release of greenhouse gases. Furthermore, the systems that are based on the condensation of the humid air by use of renewable energy sources exist too. In this work, different systems in science literature that are designed in recent years for the purpose of water production from air or are simulated, are explained by analysing. One part of these systems are based on the humidification-dehumidification principle, the other part of these systems are designed for water production from ambient air with the units having materials extract the humid of air by absorption or adsorption. Produced water by these systems is used for drinking purposes or irrigation purposes.

**Key Words:** *Water Production Techniques from Air, Renewable Energy Sources*

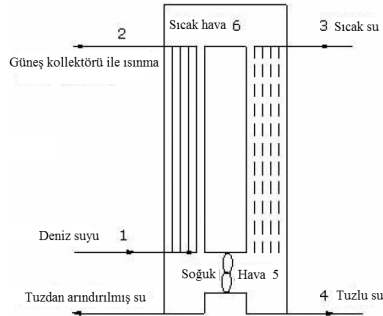
## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde var olan temiz su sıkıntısı ve bu sıkıntıya çözüm olacak çevre ile dost çalışmalara olan ihtiyaç doğrultusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı, havadan su üretme tekniklerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, literatürde geçen havadan su üretme prensibine dayalı bu sistemler incelenerek, son yıllarda yapılmış çeşitli çalışmalar açıklanmıştır.

## 2. HAVADAN SU ÜRETME PRENSİBİNE DAYALI ÇALIŞMALAR

### 2.1. GÜNEŞİN ETKİLİ OLDUĞU NEMLENDİRME-NEM ALMA TUZDAN ARINDIRMA PROSESİNDE EKSERJİ ANALİZİ

Şekil 1.'de gösterilen sistem, üst ve alt tarafından fan ile hava sirkülasyonu oluşturulan 2 adet dikey kanaldan oluşmaktadır. Kanallardan biri deniz suyu ile beslenen yoğuşturucudan, diğeri ise güneş kolektöründe ısıtılan suyun bir fiskiyeden boşaltılması ile etkisini gösteren nemlendiriciden oluşmaktadır. Soğuk deniz suyu yoğuşturucudan geçtikten sonra güneş kolektöründe ısıtılmakta ve nemlendirici kanalımdan akmaktadır. Diğer taraftan fan aracılığı ile soğuk hava nemlendiriciye yönlendirilerek ısıtılıp, nemlendirilmekte ve daha sonra yoğuşturucuya temas ederek tuzu giderilmiş su alınmaktadır.



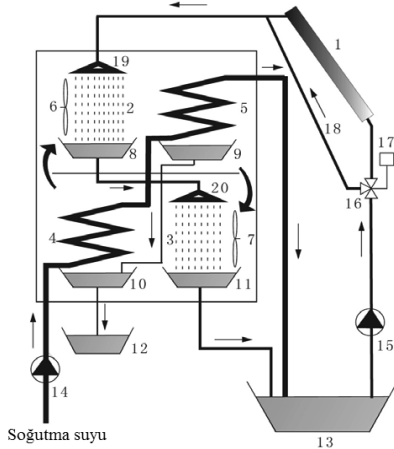
Şekil 1. Sistemin şematik gösterimi

Sisteme uygulanan ekserji analizi ile; kullanılabilir enerji, kayıp kullanılabilir enerji ve tesirlilik bulunarak sistemin ne derece mükemmel yakın olduğu tespit edilmiştir [1].

### 2.2. NEMLENDİRME-NEM ALMA İLE ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİLİ KAPALI SİRKÜLASYON TUZDAN ARINDIRMA ÜNİTESİ

Açık sirkülasyon tuzdan arındırma ünitesinin eksiklerini göz önüne alarak, daha yüksek verimli temiz su üretimi için 24 saat/gün çalışacak şekilde kapalı sirkülasyon güneş enerjili

tuzdan arındırma sistemi tasarlanmıştır. Sistemde Şekil 2.'de gösterilen parçalardan oluşan bir kule yapısı kullanılmıştır. Bu sistemin kurulumu ve bakımı kolay, yapısal sermaye yatırımı ile birlikte bakım masrafları çok düşüktür. Tuzlu su havuzundaki deniz suyu ısıtılmak üzere güneş kolektörüne ötelenir ve burada ısıtılan tuzlu su, bal peteği yapısındaki spreyleyicilerden tuzlu su toplama tanklarına spreylenmek üzere buharlaştırıcılara gönderilir. Tuzlu su toplama tanklarından çıkan tuzlu su, geriye kalan ısının tekrar kullanılabilmesi için tuzlu su havuzuna geri gönderilir. Fanlar aracılığı ile çapraz akış kazandırılan hava, buharlaştırıcılarda ısı ve nem kazanarak plaka eşanjörlü yoğuşturucularda yoğuşur. Yoğuşan su temiz su toplama havuzuna girer ve yoğuşmadaki gizli ısının büyük bir kısmı yoğuşturucular aracılığı ile tuzlu su havuzuna gönderilerek geri kazanılmış olur. Sistemin 24 saat çalıştırılabilmesi amacıyla, gece kolektörden çevreye yayılan ısı kaybını azaltmak için tuzlu su akışı çapraz valf bypass hattına yönlendirilir ve böylece sıcak tuzlu su doğrudan buharlaştırıcıya spreyleyilir. Çin'in Xi'an bölgesinde yapılan çalışma; hazıranda  $5,2 \text{ kg/m}^2/\text{gün}$ , aralıkta  $2,7 \text{ kg/m}^2/\text{gün}$  temiz su üretilebileceğini göstermektedir [2].

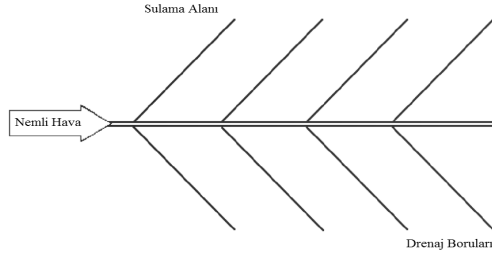


- 1 güneş kolektörü;
- 2,3 nemlendirici (buharlaştırıcı);
- 4,5 yoğuşturucu;
- 6,7 fan;
- 8,11 tuzlu su toplama;
- 9,10 temiz su toplama;
- 12 temiz su tankı;
- 13 tuzlu su havuzu;
- 14,15 pompa;
- 16 çapraz valf;
- 17 kontrol ünitesi;
- 18 geçiş boru hattı;
- 19,20 spreyleyici.

Şekil 2. Kapalı sirkülasyon güneş enerjili tuzdan arındırma sistemi.

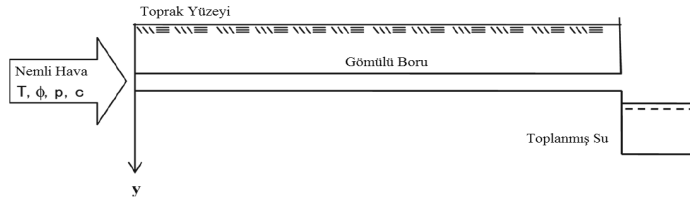
### 2.3. NEMLİ HAVANIN YERALTINDA YOĞUŞMASI İLE SU ÜRETİLMESİ

Bu çalışma; güneş damıtıcısında sıcaklığı ve nemi artırılan havanın bir fan aracılığı ile toprağa gömülü boruların içinden akması sağlanarak, borulardan toprağa ısı transferi sonucu nemli havanın yoğuşturulduğu iki tür sistemden oluşmaktadır. Şekil 3.'de gösterilen ilk sistemde; çeperlerindeki deliklerden temiz su boşalacak şekilde üretilmiş yeraltındaki borulara yönlendirilen nemli havadan yoğuşturulan su, toprak altından sulama için kullanılmaktadır.



Şekil 3. Sulama amaçlı kullanılan sistem

Bu sayede su tüketimi azaltılarak, klasik sulama ile oluşan yüzeyden akıp gitme ve buharlaşma gibi su kayıpları önlenmiş olur. Ayrıca buharlaşma sonucunda toprak üzerinde tuz tabakası oluşması ve bunun neticesinde toprağın bozulması önlenmiş olur. Şekil 4.'de gösterilen ikinci sistemde ise; çeperlerinde delik bulunmayan borunun yeraltına gömülmesi ve boruya yönlendirilen nemli havanın yoğunlaştırılması ile elde edilen su, boru çıkışında toplanarak içme suyu üretilmektedir.

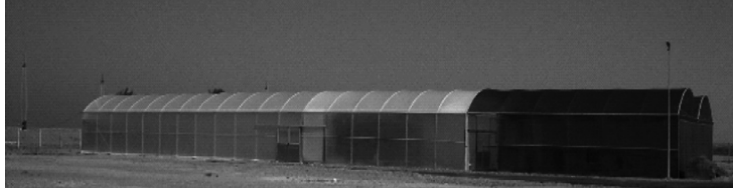


Şekil 4. İçme suyu üreten sistem

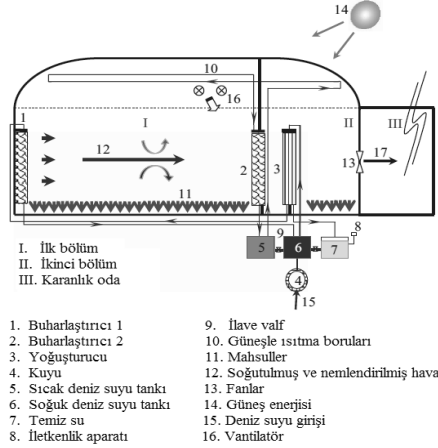
Yeraltındaki yoğunlaşma işlemi, gündüz 12 saat işletimdeyken gerçekleşmektedir. Günün geri kalan zamanı, çevredeki hava borularla toprağa gönderilerek zemini soğutmaya ayrılır. İşletimin ilk aylarında üretim her boru için 2,3 kg/m.gün ve sonraki ay 1,9 kg/m.gün dür [3].

#### 2.4. VERİMSİZ KIYI ÜLKELERİ İÇİN DİZAYN EDİLMİŞ DENİZ SUYU SERASI TUZDAN ARINDIRMA ÜNİTESİNE ADAPTE HİBRİT FOTOVOLTAİK-RÜZGAR GÜCÜ İLE ÜRETİM YAPAN SİSTEM

Şekil 5.'de görülen Umman'da kurulmuş bu sistemde, güneş ve rüzgar gücünün birlikte kullanılmasıyla, kıyıya yakın bir yerde açılmış kuyulardan alınan tuzlu suyun kullanılması sonucu, sulama için ihtiyaç olan temiz su elde edilebilmektedir. Deniz suyunun kuyulardan alınması ile istenmeyen taneciklerin ve kirliliklerin kumda filtrelenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5. Umman'daki deniz suyu serası



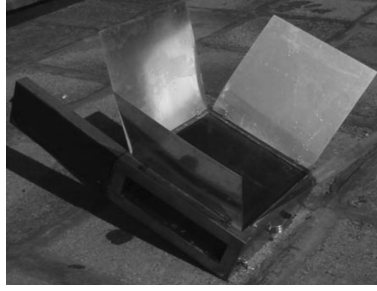
Şekil 6. Proses şeması

Proses şeması Şekil 6.'da gösterilen serada tuzlu su önce, sera tavanında güneş ışınlarını absorbe edecek şekilde döşenmiş borulardan geçip ısınarak 1. ve 2. buharlaştırıcıya gitmektedir. Bu esnada seradaki sıcak hava, fanlarla sağlanan rüzgar gücü ile yönlendirilerek sırasıyla 1. ve 2. buharlaştırıcıdan geçip nemlenmekte ve soğuk deniz suyunun içinden dolaştığı yoğuşturucuya temas ederek yoğuşturulup temiz su elde edilmektedir. Bu çalışma boyunca toplanmış veriler sonucunda, yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan böyle bir deniz suyu serasının çalıştırılarak fayda sağlanmasının teknik olarak mümkün olduğu doğrulanmıştır. 16m genişliğinde ve 60m uzunluğundaki serada günde 297 litre temiz su üretilmektedir [4].

## 2.5. HAVADAKİ NEMDEN SU ELDESİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ ABSORPSİYONLU SOĞUTMANIN KULLANILMASI

Bu çalışmada sunulmuş metot, nemli havanın direkt soğutulması ile havadan suyun çıkarılmasıdır. Güneş enerjili absorpsiyonlu (amonyak/su) soğutmanın kullanıldığı ve fan enerjisinin fotovoltaiik güneş panellerinden sağlandığı bir sistem incelenmiştir (Şekil 7). Bu sistemde soğutmaya yardımcı olarak deniz suyu kullanılmıştır. Güneş enerjisinin ayırıcı ısı





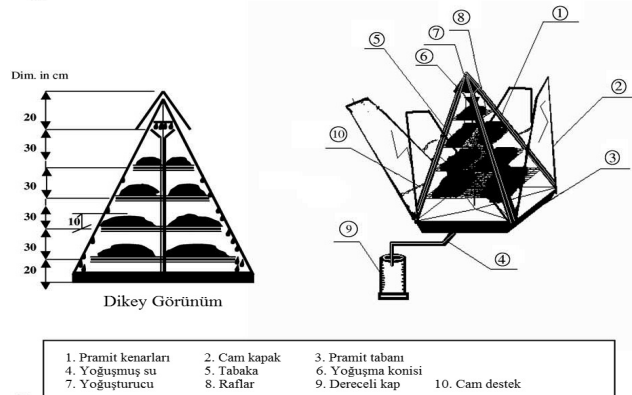
Şekil 9. Deneysel ünite

## 2.7. ÇOKLU RAFLI GÜNEŞ CAM PRAMİT SİSTEMİNİ KULLANARAK HAVADAN SU ÜRETİMİ

Çoklu raflı güneş enerjisi ile çalışan cam kapaklı piramit şeklindeki sistemin, nemli havadan su çıkarma kapasitesi bulunmuştur



(a)



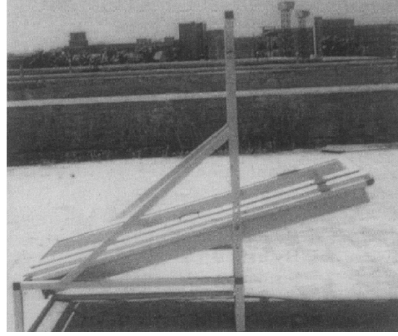
(b)

Şekil 10. (a) Kullanılan sistemin fotoğrafı, (b) Piramit ve gece kapaklarının açılması

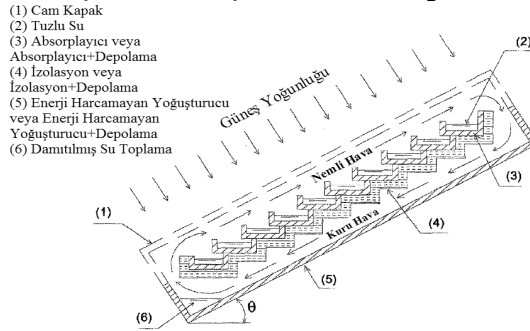
Raflarında değişik tipte tabakalara sahip iki piramit kullanılmıştır. Tabakalar %30 konsantre kalsiyum klorid çözeltisiyle doyurulmuştur. Bu şekilde havadaki nemin tabakalar tarafından absorbe edilmesi sağlanmıştır. Geceleri piramidin kenarlarındaki kapakları, tabakaların nemi hava ile doyunlaşması için açılmakta ve gündüzleri ise kenarlarındaki kapaklar kapatılarak, tabakalardan güneş ışınımı ile nemin çıkarılması sağlanmaktadır. Güneş etkisi ile buharlaşan nem piramidin tepesinde yoğunlaşmakta ve yoğunlaşan temiz su, piramidin orta noktasından tabana uzanan toplama konisinden ve kenarlardan akararak taban bölgesinde toplanabilmektedir (Şekil 10). Birinci piramitte tabaka, doğranmış ahşaptan yapılmış; ikinci piramitte ise, aynı boyutlarda kumaştan yapılmıştır. Sistem değişik hava şartlarında piramit şeklini absorpsiyon ve rejenerasyon işlemleri üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel olarak incelenmiştir. İlk sonuçlar kumaş tabakanın (9kg), ahşap tabakaya (8kg) göre daha çok çözelti absorbe ettiğini göstermiştir. Ayrıca sonuçlar, kumaş tabakanın ahşap tabakaya göre %5 daha fazla üreticiliği olduğunu göstermektedir. Ortalama üretim  $2,5 \text{ L/m}^2$  kabul edilmiştir [7].

## **2.8. YERLEŞİK ENERJİ HARCAMAYAN YOĞUŞTURUCULU, DOĞAL SİRKÜLASYONLU NEMLENDİRİCİ/NEM ALICI GÜNEŞ DAMITICISI**

Şekil 11.'de görüldüğü üzere belirli bir açı ile eğimlendirilerek yerleştirilmiş güneş damıtıcısı 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, sirküle eden havanın tuzlu su aracılığı ile nemlendirildiği üst kısım; ikinci kısım ise nemlendirilen havadan nemin yoğunlaştırılarak alındığı alt kısımdır. Hava bu iki kısım arasında doğal sirkülasyon gerçekleştirmektedir. Havanın nemlendirildiği üst kısımda, iç çeperleri absorban malzeme (glober tuzu veya parafin mumu) ile doldurularak 1mm kalınlığında alüminyum tabaka ile kaplanmış havuzlar ve bu havuzların içerisinde tuzlu su bulunmaktadır. Havuzların dış tabanları izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Havadan nemin yoğunlaştırılarak alındığı alt kısım ise, iç çeperleri absorban malzeme ile doldurulup alüminyum tabaka ile kaplanan yüzeyden oluşmaktadır (Şekil 12). Damıtıcının ilk kısmında güneş etkisi ile ısınan hava, aynı şekilde havuzların içerisinde ısınarak buharlaşan tuzlu su aracılığı ile nemlenmekte ve taşıdığı nem ile birlikte damıtıcının alt kısmına doğal sirkülasyonla geçmektedir. Alt kısımda havanın sıcaklığı ile absorban malzemenin faz değiştirmesi sonucu soğuyan yüzey aracılığı ile nem yoğunlaştırılmaktadır. Nemi alınan hava aynı sirkülasyonu tekrar etmektedir. Havuzların içerisindeki absorban malzemede depolanan ısının geri kazanılması ile gün batımından sonra belli bir süre su üretimi devam edebilmektedir. Bu sistem, dışarıdan hiçbir enerji takviyesine gerek duymaksızın yaklaşık  $5,1 \text{ kg/m}^2$ .gün su üretebilmektedir [8].



Şekil 11. Güneş damıtıcısının fotoğrafı



Şekil 12. Damıtıcı elemanlarının genel görünüşü

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak havadaki nemden su üreten bu sistemlerin basit, uygulanabilir ve çevreyle dost sistemler olduğu görülmüştür. Hava sıcaklığı ve nem miktarının sistemlerde en belirleyici unsur olması, sistemlerin havadaki nem miktarının yüksek olduğu ve su sıkıntısı çekilen kıyı bölgelerde oldukça işlevsel olabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında KKTC gibi hava sıcaklığının ve nem miktarının yüksek, temiz su ihtiyacının fazla olduğu bir coğrafya şartlarında bu prensipler incelenerek tasarlanacak bir sistemin, ekserji analizi yapılarak uygulanabilirliğinin tespiti ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

### 4. KAYNAKLAR

1. Hou, S., Zeng, D., Ye, S., Zhang, H., (2007). "Exergy Analysis of the Solar Multi-Effect Humidification-Dehumidification Desalination Process", Desalination Vol.203. pp.403-409.

2. Yuan, G., Zhang, H., (2007). "Mathematical Modeling of Closed Circulation Solar Desalination Unit with Humidification-Dehumidification", *Desalination* Vol.205. pp.156-162.
3. Lindblom, J., Nordell, B., (2006). "Water Production by Underground Condensation of Humid Air", *Desalination* Vol.189. pp.248-260.
4. Mahmoudi, H., Abdul-Wahab, S.A., Goosen, M.F.A., Sablani, S.S., Perret, J., Ouagued, A., Spahis, N., (2008). "Weather Data and Analysis of Hybrid Photovoltaic-Wind Power Generation Systems Adapted to a Seawater Greenhouse Desalination Unit Designed for Arid Coastal Countries", *Desalination* Vol.222. pp.119-127.
5. Scrivani, A., Bardi, U., (2008). "A Study of the Use of Solar Concentrating Plants for the Atmospheric Water Vapour Extraction from Ambient Air in the Middle East and Northern Africa Region", *Desalination* Vol.220. pp.592-599.
6. Ji, G.J., Wang, R.Z., Li, L.X., (2007). "New Composite Adsorbent for Solar-Driven Fresh Water Production from the Atmosphere", *Desalination* Vol.212. pp.176-182.
7. Kabeel, A.E., (2007). "Water Production from Air Using Multi-Shelves Solar Glass Pyramid System", *Renewable Energy* Vol.32. pp.157-172.
8. Fath, H.E.S., Elsherbiny, S., Ghazy, A., (2004). "A Naturally Circulated Humidifying/Dehumidifying Solar Still with a Built-in Passive Condenser", *Desalination* Vol.169. pp.129-149.