

TERMOKAPL HİGROMETRE/PSİKROMETRE İLE YAPRAK  
SU POTANSİYELİNİN ÖLÇÜLMESİ

Ruhi BAŞTUĞ

Suat IRMAK

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya.

**Özet:** Bitkiler, toprak ve atmosferik çevrelerini bünyelerinde birleştirdiklerinden sulama programlamasında bitkiyi baz alan su durumu değerlendirmeleri son yıllarda giderek artan bir önem kazanmıştır.

Bitki su durumunun ifade edilmesinde genellikle doku veya organ su potansiyeli ( $\Psi$ ) kullanılmaktadır. Bu potansiyellerin belirlenmesinde termokapl higrometrelerin / psikrometrelerin geniş kullanım alanları vardır.

Tarla koşullarında yaprak su potansiyelinin izlenmesi, teknik ve deneysel olarak bazı problemler içermektedir. Bitki su potansiyelini ölçen birçok standart yöntemler bulunmasına rağmen bu yöntemler uygulama ve zaman yönünden bazı sınırlamalara sahiptir.

Bu makalede, yaprak su potansiyelinin ölçümüne ilişkin temel kavramların açıklanması ve su potansiyelinin tarla koşullarında ölçümüne olanak sağlayan "Çiğlenme Noktası Higrometresi /Psikrometresi" aletinin ayrıntılı olarak gözden geçirilmesi amaçlanmıştır.

Measuring of Leaf Water Potential Using Thermocouple  
Hygrometers/Psychrometers

**Abstract:** Because plants integrate their soil and atmospheric environments, an increasing emphasis on plant based water status evaluation for irrigation scheduling has occurred in recent years.

There are some different parameters to express plant water potential. Most general of these parameters are tissue or organ water potentials ( $\Psi$ ). Thermocouple Hygrometers/Psychrometers are the most useful instruments for measuring leaf water potentials.

Measuring of the plant water potential at the field conditions includes some problems such as techniques and experiments. In spite there are some methods for measuring plant



water potential these methods are limited in terms of application and time.

In this article, some information will be given about the methods are used for determining plant water potential and the "Dewpoint Hygrometer/Psychrometer" technique for measuring leaf water potential at the field conditions will be explained.

## Giriş

Bitkiye ne zaman, ne kadar su verileceğini belirlemek olarak tanımlanabilen sulama programlaması, sulama biliminin temelini oluşturmaktadır.

Son yıllarda ileri sürülen birçok yaklaşımlar ve yerel uygulamalardaki bazı yenilikler, sulama programlarının önemli ölçüde gelişmesine neden olmuştur.

Sulama programlaması, toprak-bitki-atmosfer durumuna ilişkin bir veya daha fazla unsurda su durumunun doğrudan veya dolaylı değerlendirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Bitkiler toprak ve atmosferik çevrelerinin etkilerini bünyelerinde birleştirdiklerinden sulama programlamasında bitkiyi baz alan su durumu değerlendirmeleri giderek artan bir önem kazanmıştır. Özellikle toprakta sıkışmanın olduğu, kök büyümesinin sınırlandığı, su alımının çeşitli nedenlerle engellendiği koşullarda bitki su durumu, yalnız toprağı esas alan su durumu ölçümlerinden daha fazla bilgi vericidir (1).

Yaprak su potansiyeli, bitki su durumunun belirlenmesi amacıyla ölçülen önemli bir parametredir.

Herhangi bir sistemdeki bir elemanın serbest enerjisi, o elemanın iş yapma kapasitesinin bir göstergesidir. Suyun serbest enerjisi, mevcut suyun mol fraksiyonuna veya sistemdeki su molekülleri konsantrasyonunun oranına bağlıdır (2). Su potansiyeli ( $\Psi$ ) olarak da adlandırılan suyun serbest enerjisi, bitki-su çalışmalarında çoğunlukla kimyasal potansiyel ( $\mu$ ,  $\text{erg mol}^{-1}$ ) suyun molal hacmine ( $\bar{V}$ ,  $\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ ) bölünerek basınç birimleriyle ifade edilir (3):

$$\Psi = (\mu - \mu_0) / \bar{V} \quad (1)$$

Basıncı belirtmede genellikle bar ( $10^6 \text{ erg cm}^{-3}$ ) veya atmosfer (0,987 bar) birimleri kullanılmaktadır. Kimyasal potansiyelin mutlak değeri bilinmediğinden, bitkiye ilişkin



çalışmalarda atmosfer basıncında ve aynı sıcaklıkta bulunan serbest saf suyun kimyasal potansiyeli ( $\mu_0$ ) baz alınır. Bu kıyas düzeyinin su potansiyeli sıfır olarak tanımlanır.

Bitkilerde negatif bir değer olan toplam su potansiyeli, negatif değerli osmotik ve matrik potansiyeller ile pozitif değerli basınç potansiyelinin cebirsel toplamıdır. Ancak bitkilerde matrik potansiyel önemli değildir. Su potansiyelinde bu unsur osmotik potansiyel ile gösterilir.

Bitkilerde su alımı pasif bir süreçtir. Su potansiyeli ( $\Psi$ ) eğiminin düşmesi transpirasyon kaybını izleyerek gelişir. Diğer bir deyişle, su içeriğindeki ve su potansiyelindeki azalma, doğal çevre içinde bulunan bitkilerin günlük çevriminin esas parçasıdır. Bitkinin su eksikliği çeken bir bitki olarak adlandırılması için "su içeriği ve  $\Psi$  değeri hangi düzeye düşmelidir?" sorusunun yanıtı uygun bir sulama programı yapılması açısından önemlidir (4).

Toprak ve bitkideki mevcut su ile bu suyun atmosfere kayboluşu üzerindeki çalışmalarda suyun serbest enerji durumunun ölçülmesi esastır. Bitki su potansiyeli ile ilgilenen araştırmacılar, toprak-bitki-atmosfer devamlılığındaki suyun serbest enerjisini ifade etmek ve ölçmek için birçok çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda bir seri deneme tekniği ve yöntemi ortaya konulmuştur (2).

Bitki su potansiyelini ölçmede kullanılacak yöntemler 1) Termokapl higrometreler (psikrometreler), 2) Shardakov dye (boya) yöntemi, 3) Basınç odacığı yöntemi ve 4) Diğer yöntemler olarak gruplandırılabilirler. Termokapl higrometreler (psikrometreler) ise kendi içerisinde a) Islak halkalı, b) İzopiestik, c) Spanner tipi, d) Çiğlenme noktası higrometreleri ve e) Yerinde ölçüm yapan tipler olmak üzere sınıflandırılabilirler (5).

Su potansiyeli ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması ve hangi yöntemin hangi koşullar altında daha iyi sonuçlar verdiğinin saptanması duyarlı çalışmaların yapılmasını gerektirir.

Termokapl higrometreler (psikrometreler) modern termodinamik teorisine dayanarak, toprak-bitki devamlılığında suyun serbest enerji durumunu niceliksel terimlerle ifade etmede geniş ölçüde kullanılabilen aygıtlardır. Anılan aygıtlarla hem toprak hem de bitki dokularının su potansiyeli ölçülebilmektedir.



Su buharı basıncının çok dar sınırlar içinde duyarlı olarak termokaplar ile ölçülebileceğini ilk olarak 1951 yılında Spanner ileri sürmüştür. Daha sonra Campbell ve ark. (6) tarafından su potansiyeli ölçümleri için bir çiğlenme noktası higrometresi geliştirilmiş ve aletin çalıştırılmasına ilişkin esaslar verilmiştir.

Campbell ve Campbell (7), yerinde yaprak su potansiyeli ölçümleri için bazı bitkilerde termokapl higrometrelerinin kullanımını değerlendirmişlerdir.

Bielorai ve Hopmans (8), pamuk bitkisinin yaprak su potansiyelini basınç odacığı yöntemiyle ölçerek bir sulama aralığındaki değişimini incelemişlerdir.

Brown ve Tanner (9), Bennett ve ark. (10) ve Wright ve ark. (11), çeşitli bitkilerdeki yaprak su potansiyeli ölçümlerinde termokapl psikrometre ve basınç odacığı yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar genel olarak iki yöntem arasında yakın ilişki belirlemişlerdir.

Savage ve ark. (12), Wescor ve Merrill olmak üzere iki farklı tip yaprak higrometresini karşılaştırmışlar ve ilkinin daha az sıcaklık gradienti gösterdiğini saptamışlardır.

Schaefer ve ark. (13), Wescor çiğlenme noktası higrometresi ile bitki su potansiyelini sürekli olarak gözlemişler ve bitki kök sistemlerinin ve yaprakların su potansiyelinin yerel olarak belirlenmesinde oldukça kullanışlı yöntemler olduklarını saptamışlardır.

Meron ve ark. (14), sulama programlaması amacıyla pamuk yaprak su potansiyelinin basınç odacığı yöntemi ile ölçümü için bir örnekleme yöntemi sunmuşlardır. Grimes ve ark. (1) ise pamuk bitkisinde iklimsel parametrelerdeki günlük değişimlerin sulama programlamasında kullanılan yaprak su potansiyellerine etkilerini elimine edici bir iklimsel normalleştirme tekniği geliştirmişlerdir.

Bitki su potansiyelinin doğru ölçülmesi, farklı koşullar altında bitki üretiminin daha iyi anlaşılması açısından da önem taşımaktadır. Öte yandan bitki su potansiyeli ölçüm yöntemleri bitkinin su stresine tepkisini anlamamıza yardımcı olmaktadır (15).



Bu makalede, bitkilerde yaprak su potansiyeli ölçümü için bir tür termokapl psikrometre olan Wescor Çiğlenme Noktası Higrometresi aletinin ayrıntılı olarak gözden geçirilmesi ve aletin kullanımının açıklanması amaçlanmıştır.

### Teori

Bir su yüzeyindeki buhar basıncı, su ile denge halinde bulunan atmosferdeki su moleküllerinin sayısının bir ifadesidir. Bu değer belli bir sıvı için aynı sıcaklıkta sabit bir değerdir. Sıcaklık artınca sıvı sudan atmosfere daha fazla su molekülü gideceğinden buhar basıncı artar. Buhar basıncı; sıvı yüzeyle temasta bulunan atmosferdeki su moleküllerinin sayısı, suda çözünenler ve sıvı suyun şekline de bağlıdır (2)

Atmosferdeki su molekülleri serbest sıvı-su yüzeyi ile denge haline geldikten sonra, bu yüzeyden (z) yüksekliğindeki su buharı basıncı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$P_z = P_o \exp [ - (gM/RT) z ] \quad (2)$$

Eşitlikte; R= Universal gaz sabiti, T= Mutlak sıcaklık (°K), g= Yerçekimi ivmesi (1000 cm/sn<sup>2</sup>), M= Suyun mol ağırlığı, z= Yükseklik, P<sub>o</sub>= Serbest su yüzeyi ile direkt temastaki yerin su buharı basıncı, P<sub>z</sub>= Serbest su yüzeyinden z yüksekliğinde bir noktadaki su buharı basıncıdır.

Eşitlik 2. bir aşama daha ileriye götürülürse:

$$P_z/P_o = \exp [ - (gM/RT)z ] \quad (3)$$

$$\ln(P_z/P_o) = \ln e^{- (gM/RT)z} \quad (4)$$

$$\ln(P_z/P_o) = - (gM/RT)z \quad (5)$$

$$z = - (RT/gM) \ln(P_z/P_o) \quad (6)$$

elde edilir. Oransal nemi atmosferle dengeye gelen bir çözelti veya bitki materyali parçasında, aynı zamanda su potansiyeli ile atmosferin su buharı basıncı (potansiyeli) dengeye gelmiş olur. Yukarıda verilen eşitliklerdeki gM terimi yerine suyun kısmi molal hacmi (V = 18,016 cm<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup>) kullanılırsa çözelti veya bitki materyali parçasının oransal buhar basıncı (e/e<sub>o</sub>) ile su potansiyeli arasındaki ilişki aşağıdaki biçimde yazılabilir (16):



$$\Psi = (RT/\bar{V}) \ln(e/e_0) \quad (7)$$

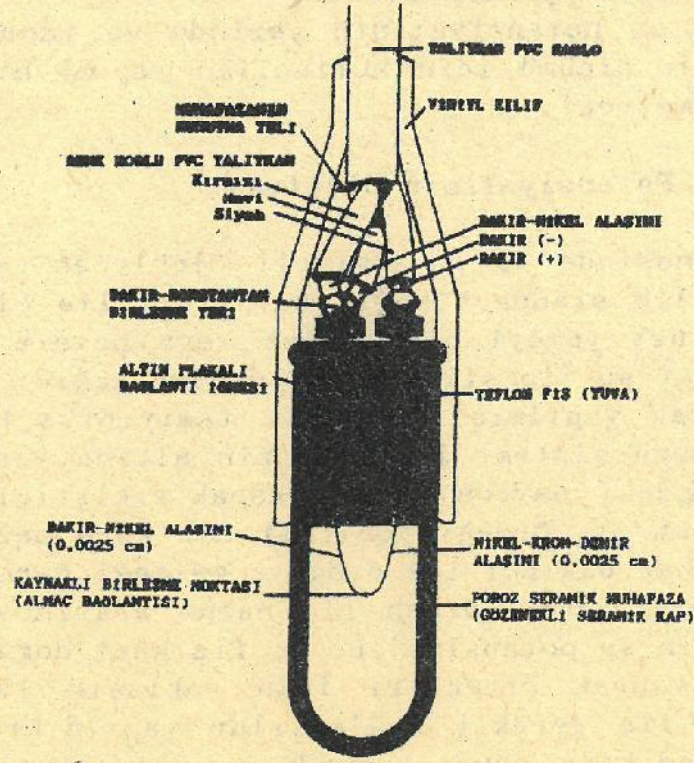
Eşitlikte,  $e$  = Çözelti veya dokudaki suyun buhar basıncı,  $e_0$  = Atmosferik basınçta saf suyun buhar basıncıdır. Eşitlikteki  $e_0$  değeri, bu amaçla hazırlanmış çizelgelerden alınabilir. Bu durumda  $e$  değeri saptanırsa  $\Psi$  değeri hesaplanabilir. Örneğin 25 °C (293 °K)'de oransal buhar basıncının ( $e/e_0$ ) 0.996668 olduğu anda su potansiyeli değeri basınç birimleriyle:

$$\Psi = [(8.31 \times 10^7) \times 298] / (18.016) \ln(0.996668)$$

$$\Psi = -4.59 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2 = -4.59 \text{ bar olacaktır.}$$

Termokapl higrometreler/psikrometreler,  $e$  değerini saptamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Alet, içerisinde termokapl içeren gözenekli seramikten yapılmış bir hücreden oluşur. Termokapl, bir uçları birbirine, diğer uçları mikrovoltmetreye giden bakır tellere bağlı, kromel (nikel, krom, demir alaşımı) ve konstantan (bakır, nikel alaşımı)'dan yapılmış iki telden oluşmuştur (Şekil 1). Tellerin birbirlerine kaynaklandıkları yere almaç (junction) bağlantısı, mikrovoltmetreye giden bakır tellere bağlandıkları yere referans bağlantı adı verilir. Su buharının seramik kabın gözeneklerinden kolayca geçmesiyle örnek odacığı içindeki havanın buhar basıncı, örneğin içindeki suyun buhar basıncı ile dengeye gelmektedir. Peltier psikrometrelerinde termokapl, Peltier etkisiyle soğutulur. Bunun için termokapl bağlantılara elektrik akımı verilerek iki termokapl bağlantı noktası, farklı sıcaklıklara maruz bırakılır ve bir potansiyel farkı oluşturulur. Referans bağlantı, ısı farklılığı sağlamak için teflon bir yuva içine gömülmüştür. Termokapla elektrik akımı uygulanarak hücre atmosferi ile temasta bulunan almaç bağlantı, sözkonusu atmosferin çiğlenme noktasının altına kadar soğutulur (Peltier soğutması). Bu noktada bir su damlası bağlantı üzerinde yoğunlaşır. Soğutma durdurulduğunda bağlantı üzerindeki damladan su tekrar buharlaşmaya başlar. Islak termometre düşmesinin karşılığı olan, termokaplin buharlaşma nedeniyle bu soğuması ölçülür (5.17).





Şekil 1. Seramik termokaplı muhafazalı Peltier Higrometre/Psikrometre.

Bunun için, üzerindeki buharlaşma sonucu soğuyan almaç bağlantı ile teflon yuvaya gömülü referans bağlantı arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan potansiyel farkı bir mikrovoltmetre ile okunur. Mikrovoltmetreden okunan voltaj bir grafik yardımıyla doğrudan su potansiyeline çevrilir.

#### Çiğlenme Noktası Higrometresi

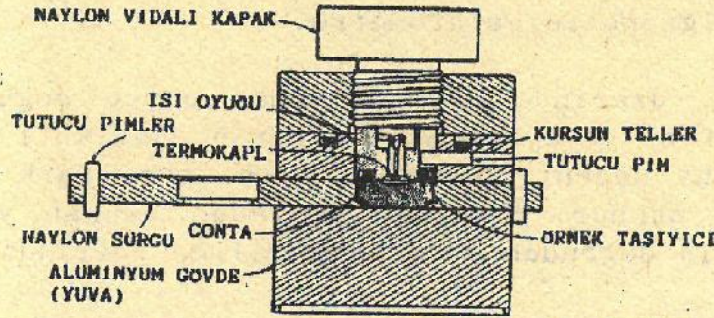
Su Potansiyelmetresi olarak adlandırılan Wescor Çiğlenme Noktası Higrometresi/Psikrometresi esas olarak hem çiğlenme noktası (higrometrik) ve hem de ıslak termometre (psikrometrik) yöntemle su potansiyeli ölçümü yapabilen bir mikrovoltmetredir. Her iki yöntem de uygun kalibrasyonda aynı su potansiyelini verir. Ancak çiğlenme noktası yöntemi, çevresel sıcaklıktan daha az etkilendiği için çoğu zaman tercih edilir. Alette ayrıca bağlantı hatalarını giderici ve ısısal hataları azaltıcı özel bir bağlantı sistemi (Surefast) bulunmaktadır. Mikrovoltmetreye üç tip sensör bağlanabilmektedir.



- 1) Toprak ve bitki dokusu örneklerinde su potansiyelinin ölçümü için kullanılan örnek haznesi,
- 2) Yerinde (toprakta) su potansiyeli ölçümü için toprak higrometresi/psikrometresi,
- 3) Yaprak su potansiyelinin yerinde ve yaprağı örselemeksizin ölçümü için kullanılan yaprak higrometresi/psikrometresi.

### Yaprak Su Potansiyelinin Ölçülmesi

Örnek haznesinde su potansiyeli ölçülecek yaprak örnekleri, 1/4 inç'lik standart kağıt delgileri ile elde edilebilir. Yaprığın üst yüzeyi bir sünger veya havsız bez parçası kullanılarak saf su ile silinir ve kurutma kağıdı ile kurulur. Özel olarak yapılmış bir örnek taşıyıcıya konan yaprak örneği, bir sürgü sistemi ile haznenin altına yerleştirilir. Haznenin üzerindeki naylon vidalı kapak sıkıştırılarak hazne kapatılır (Şekil 2). Örneğin belirli bir süre hazne içindeki sıcaklık ve buhar basıncı ile dengeye gelmesi gerekir. Dengeleme için gerekli süre, örnek ile hazne arasındaki sıcaklık farkına, örneğin su potansiyeline ve fiziksel doğasına bağlıdır. Bu süre yaprak örnekleri için yaklaşık 15 dakikadır. Mikrovoltmetre ile gerekli bağlantılar yapıldıktan ve denge süresi tamamlandıktan sonra yaprak su potansiyeli mikrovolt ( $\mu V$ ) olarak ölçülür.



Şekil 2. Örnek haznesinin şematik görünümü.

Doğru bir okuma için termokapl odacığı (örnek haznesi) veya termokaplın yabancı bir materyal ile bulaşık olmaması gerekir. Bu nedenle örneğin yerleştirilmesi sırasında gerekli özen gösterilmelidir.

### Kalibrasyon

Aygıt bilinen örneklerin (örneğin standart NaCl çözeltilerinin) su potansiyeli ölçülerek kalibre edilebilir. Çeşitli sıcaklıklardaki NaCl çözeltilerinin su potansiyelleri Çizelge 1'de verilmiştir. Standart çözeltiler saf su ve belirli mik-



Çizelge 1. NaCl Çözeltilerinin Farklı Sıcaklıklardaki Su Potansiyelleri.

Molalite	Sıcaklık								
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
0.05	-2.14	-2.18	-2.22	-2.26	-2.30	-2.34	-2.38	-2.42	-2.46
0.1	-4.23	-4.31	-4.39	-4.47	-4.54	-4.62	-4.70	-4.77	-4.85
0.2	-8.36	-8.52	-8.68	-8.84	-9.00	-9.15	-9.30	-9.46	-9.61
0.3	-12.47	-12.72	-12.97	-13.21	-13.44	-13.68	-13.91	-14.15	-14.37
0.4	-16.56	-16.93	-17.27	-17.59	-17.91	-18.23	-18.55	-18.86	-19.17
0.5	-20.70	-21.15	-21.58	-22.00	-22.41	-22.81	-23.22	-23.62	-24.02
0.6	-24.84	-25.39	-25.93	-26.44	-26.94	-27.44	-27.94	-28.43	-28.91
0.7	-29.01	-29.67	-30.30	-30.91	-31.51	-32.10	-32.70	-33.28	-33.85
0.8	-33.20	-33.96	-34.72	-35.43	-36.12	-36.82	-37.51	-38.18	-38.85
0.9	-37.43	-38.32	-39.17	-39.98	-40.79	-41.56	-42.27	-43.14	-43.90
1.0	-41.69	-42.70	-43.68	-44.59	-45.50	-46.40	-47.29	-48.15	-49.01
1.1	-45.96	-47.13	-48.20	-49.24	-50.26	-51.27	-52.26	-53.22	-54.18
1.2	-50.22	-51.60	-52.78	-53.94	-55.07	-56.20	-57.30	-58.35	-59.41
1.3	-54.70	-56.11	-57.42	-58.69	-59.94	-61.19	-62.39	-63.54	-64.71
1.4	-59.12	-60.68	-62.10	-63.50	-64.87	-66.23	-67.54	-68.80	-70.06
1.5	-63.59	-65.29	-66.84	-68.37	-69.86	-71.34	-72.76	-74.11	-75.48
1.6	-68.11	-69.96	-71.83	-73.30	-74.91	-76.52	-78.05	-79.50	-81.07
1.7	-72.60	-74.60	-76.40	-78.20	-80.00	-81.70	-83.30	-84.90	-86.50
1.8	-77.30	-79.40	-81.30	-83.30	-85.20	-87.00	-88.80	-90.40	-92.10
1.9	-81.90	-84.30	-86.30	-88.40	-90.40	-92.40	-94.30	-96.00	-97.80
2.0	-86.70	-89.20	-91.30	-93.60	-95.70	-97.80	-99.80	-101.60	-103.50

Su Potansiyeli (Bar)

tarlarda NaCl kullanılarak istenen molalitede hazırlanabilir.

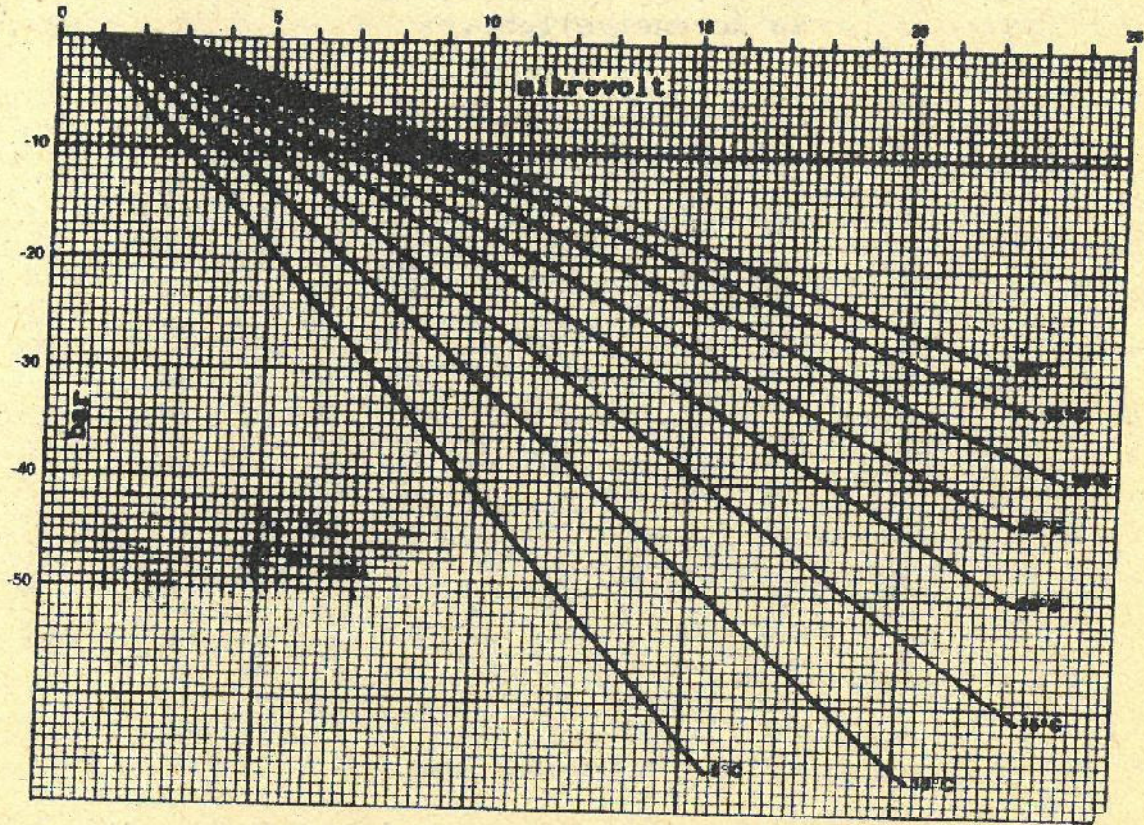
Örneğin, 1 molal çözelti 58.44 gr NaCl ve 1000 gr saf su ile elde edilir. Çizelge 1'de görüldüğü gibi bunun 25 °C'deki karşılığı -46.4 bar'dır.

Çözelti örnekleme için, kağıt delgileri ile kesilen filtre kağıdı diskleri kullanılabilir. Diskler test çözeltisine daldırılarak satüre edildikten sonra örnek taşıyıcıya yerleştirilir. Aygıtın temel kalibrasyonu, hazne içindeki su potansiyelinin fonksiyonu olan çıktı ( $\mu\text{V}$ ) değerlerinin ölçülmesini içerir.

Higrometrik yöntemde çıktı, yaklaşık olarak  $0.75 \mu\text{V bar}^{-1}$ , psikrometrik yöntemde ise  $0.47 \mu\text{V bar}^{-1}$  olup her iki yöntemde de doğrusaldır. Hava sıcaklığı için soğuma katsayısı ( $\pi$ ) uygun düzenlenirse higrometrik çıktı sıcaklıktan bağımsızdır. Şekil 3'deki kalibrasyon eğrileri, örnek haznesinin tipik performansını göstermektedir. Okunan  $\mu\text{V}$  değerlerine karşılık su potansiyeli bar olarak belirlenir.

Psikrometrik çıktı ise, çevre sıcaklığının bir fonksiyonudur. Örnek haznesi, sıcaklık ölçümü için içsel bir termokapl içerir. Ölçümlerin 25 °C'ye uyarlanması için Eşitlik 8'den yararlanılır.





Şekil 3. Dengeleme süresi iki dakika olan çözeltiler için tipik psikrometrik kalibrasyon eğrileri.

$$\text{DÜZELTİLMİŞ OKUMA} = \text{ÖLÇÜLEN OKUMA} / (0.325 + 0.027T) \quad (8)$$

Burada, T ölçümün yapıldığı yerdeki sıcaklık (°C)'dir.

**Soğuma Katsayısı ( $\mu\text{V}$ )**

Higrometrik yöntem ile yaprak su potansiyeli ölçümünde, Peltier soğumasıyla termokapl almaç bağlantısının ulaşabileceği en büyük sıcaklık düşüşünü temsil ettiği için, soğuma katsayısı; termokaplın su potansiyelini ölçüm aralığının alt sınırını belirler. Eğer çiglenme noktası bu sıcaklığın altında ise örnekten almaç bağlantısı üzerine su yoğunlaşması mümkün olmayacağından, çiglenme noktası yöntemiyle ölçüm yapılamayacaktır.

Örneğin, almaç bağlantısının soğuma katsayısı  $\mu\text{V} = 50 \mu\text{V}$  ise, ölçülebilecek en düşük su potansiyeli;

$50 \mu\text{V} / (-0.75 \mu\text{V}) = -66.6$  bar olacaktır. Bu nedenle higrometrik yöntem ile ölçüm yapılmazdan önce,  $\mu\text{V}$ 'nin çevre



sıcaklığına göre düzeltilmesi ve alettaki düğmenin bu değere getirilmesi gerekir. Bu düzeltme için aşağıdaki ilişkiden yararlanılır:

$$\pi_{v, T_1} = 0.7 (T_1 - T_0) + \pi_{v, T_0} \quad (9)$$

İlişkide,  $\pi_{v, T_1}$  = yeni ( $T_1$ ) sıcaklığındaki  $\pi_v$  değeri,  $\pi_{v, T_0}$  = ölçüm ( $T_0$ ) sıcaklığındaki  $\pi_v$  değeridir.

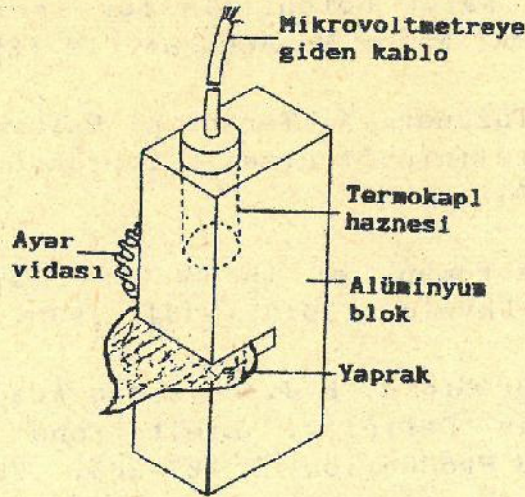
Örneğin; verilen: 25 °C'deki  $\pi_v = 55 \mu V$  ve  $T = 12 \text{ °C}$  ise,

$$12 \text{ °C'deki } \pi_v = 0.7 (12 - 25) + 55 = 45.9 \mu V \text{ olur.}$$

Aygıtta soğuma katsayısı çevre sıcaklığına göre ayarlanırsa higrometrik çıktılar sıcaklığa bağlı kalmayacak ve ölçümler kesinlik kazanacaktır.

Örnek haznesinin alüminyum gövdesi, hazne içindeki sıcaklık gradientini ve oluşabilecek hataları azaltmaya hizmet eder. Ancak, hava akımından ve direkt solar radyasyondan kaçınmak daha iyi sonuçlara neden olacaktır.

Yaprak su potansiyelinin yerinde ölçümünde, bu amaç için tasarlanmış yaprak higrometresi/psikrometresi kullanılabilir (Şekil 4). Söz konusu sensör aynı ilkelerle çalışmaktadır.



Şekil 4. Yaprak higrometresinin görünüşü.

Alet kullanılırken, yaprak dokusunun ölçüm yapılacak bölümü bir bez ile silinir, sonra sensörün gövdesindeki yanal oyuğa yerleştirilir. Oyuk ve ölçüm haznesi arasındaki yaprağı saracak biçimde hafifçe basınç uygulanır ve conta etkisi yaratmak için petrol jeli veya balmumu-lanolin karışımı ile temas sağlanır.



## Sonuç

Sulama programlamasında, bitkideki ölçümlere dayalı yöntemler son yıllarda önem kazanmıştır. Özellikle sıkışık toprak katmanlarının sözkonusu olduğu, bitki kök gelişiminin sınırlandığı, su alımının çeşitli nedenlerle engellendiği durumlarda yalnızca toprağı esas alan ölçümler bitkinin su durumunun belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Böyle durumlarda bitkiyi baz alan ölçümler, bitki su durumuna ilişkin daha fazla bilgi vermektedirler.

Bitkinin su durumunun belirlenmesinde yaprak su potansiyelini ölçmeye yarayan termokapl higrometreler/psikrometreler özellikle araştırma düzeyinde ve laboratuvar koşullarında yaygın olarak kullanılmakta ve diğer birçok yöntemle tercih edilmektedirler. Aygıtın toprakta ve bitki yapraklarında su potansiyeli ölçümü yapan sensörleri ile arazi koşullarında kullanımı da olanaklıdır. Ancak sulama programlaması amacıyla tarla koşullarında kullanımı uygulama açısından birtakım güçlükler içermektedir.

## Kaynaklar

1. Grimes, D.W., Yamada, H. and Hughes, S.W. Climate-normalized Cotton Leaf Water Potentials for Irrigation Scheduling. *Agricultural Water Management*, 12 (293-304), 1987.
2. Yeşilsoy, M.Ş., Tüzüner, A. Termokapi Psikrometre ve Bunlarla Su Potansiyelinin Ölçülmesi. *Topraksu Dergisi*, No:35, S 7-16, 1972.
3. Boyer, J.S. Measurement of the Water Status of Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:351-364, 1969.
4. Hsiao, T.C. and Bradford, K.J. Physiological Consequences of Cellular Water Deficits. *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. P 227-265, 1983.
5. Hsiao, T.C. Measurements of Plant Water Status. *Irrigation of Agricultural Crops*. Ed. By. B.A. Stewart and D.R. Nielsen, No:30, P 1243, 1990.
6. Campbell, E.C, Campbell, G.S. and Barlow, W.K. A Dewpoint Hygrometer for Water Potential Measurement. *Agricultural Meteorology*, 12:113-121, 1973.



7. Campbell, G.S. and Campbell, M.D. Evaluation of a Thermocouple Hygrometer for Measuring Leaf Water Potential In Situ. *Agronomy Journal*, 66:24-27, 1974.
8. Bielorai, H., Hopmans, P.A.M. Recovery of Leaf Water Potential, Transpiration, and Photosynthesis of Cotton During Irrigation Cycles. *Agronomy Journal*, 67:629-632, 1975.
9. Brown, P.W. and Tanner, C.B. Alfalfa Water Potential Measurement: A Comparison of the Pressure Chamber and Leaf Dew Point Hygrometers. *Crop Science*, 21:240-244, 1981.
10. Bennett, J.M., Cortes, P.M. and Lorens, G.F. Comparison of Water Potential Components Measured with a Thermocouple Psychrometer and a Pressure Chamber and the Effects of Starch Hydrolysis. *Agronomy Journal*, 78:239-244, 1986.
11. Wright, G.C., Rahmianna, A. and Hatfield, P.M. A Comparison of Thermocouple Psychrometer and a Pressure Chamber Measurements of Leaf Water Potential in Peanuts. *Expl. Agric. Vol 24*, p 355-359, 1988.
12. Savage, M.J., Wiebe, H.H. and Cass, A. In Situ Field Measurement of Leaf Water Potential Using Thermocouple Psychrometer. *Plant Physiol.* 73:609-613.
13. Schaefer, N.L. Trickett, E.S., Ceresa, A. and Barrs, H.D. Continuous Monitoring of Plant Water Potential. *Plant Physiol.* 81:45-49, 1986.
14. Meron, M., Grimes, D.W., Phene, C.J. and Davis, K.R. Pressure Chamber Procedures for Leaf Water Potential Measurements of Cotton. *Irrig. Sci.* 8:215-222, 1987.
15. Stanley, C.D. Proper Use and Data Interpretation for Plant and Soil Water Status Measuring. *Hort Sci. Vol 25*, P 12, 1990.
16. Turner, N.C, and Burch, G.J. The Role of Water in Plants. *Crop-Water Relations* (Ed.by. I.D. Teare and M.M. Peet). John Wiley and Sons. USA, 73-126, 1983.
17. Turner, N.C. Techniques and Experimental Approaches for the Measurement of Plant Water Status. *Plant and Soil*, 58:339-366, 1981.



## YENİ YAZIM KURALLARI

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi'nde bilimsel çalışmaları yayınlamak için uyulması istenen yayın ilkeleri aşağıda sunulmuştur.

1. Orijinal bir araştırmayı metot, bulgu ve sonuçları ile yansıtan araştırma makaleleri ile tarımda son gelişmeleri ve ileri teknikleri konu alan derlemeler Türkçe veya yabancı dilde (İngilizce, Almanca, Fransızca) olarak kabul edilmektedir.
2. Yazım karakteri kolay okunabilir olmalı, yazım A4 formundaki kağıdın önyüzüne 54 satır olarak, üst ve alt kenar boşlukları yaklaşık 4 cm, sol ve sağ kenar boşlukları ise yaklaşık 2 cm olacak şekilde yazılmalı, kaynaklar ve şekiller dahil 15 sayfayı geçmemelidir. Makaleler bir orjinal ve iki suret olarak toplam üç adet olarak haberleşme adresine gönderilmelidir. Haberleşme adresi: Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı PK. 510, 07070 Antalya.
3. Eserin başlığı metne uygun olarak en anlaşılır biçimde ve kısa olarak büyük harflerle yazılmalıdır. Başlığın altına yazar veya yazarların ünvan bildirilmeksizin küçük harflerle adları ve büyük harflerle soyadları yazılmalıdır. Yazar veya yazarların yazışma adresleri adlarının hemen altına tek tek yada toplu olarak yazılmalıdır.
4. Özet 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde Türkçe ve İngilizce olarak ayrı ayrı yazılmalı ve İngilizce özetin başlığı aynı dilden küçük harflerle yazılmış olmalıdır.
5. Araştırma makalelerinin metni; Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma ile Sonuca ilişkin bölümlerden oluşmalıdır. Metin sonuna gerek duyulursa kısa bir Teşekkür yazısı ile Kaynaklar eklenmelidir.
6. Kaynaklar; metin içerisinde (1), (2) gibi rakamlarla numaralandırılmalı ve metin sonunda da metin içerisinde verilmiş sırasına göre yazılmalıdır. Kaynak yazımı; yazar soyadı, adının başharfi, makalenin başlığı, derginin adı, cilt no: sayfa aralığı, yıl. şeklinde olmalıdır. Kaynak bir kitaptan alınmış ise; yazarın soyadı, adının başharfi, kitabın adı, cilt no, varsa editörü, yayınlayan, yayın no, yayınlandığı yer, sayfa sayısı, yıl. şeklinde olmalıdır.
7. Şekil ve grafikler aydınlar veya beyaz kuşe kağıda çizilmiş olarak, resimler (mümkün ise siyah-beyaz) net basılmış olarak gönderilmelidir.
8. Herhangi bir kurumun desteği ile gerçekleştirilmiş çalışmalarda, destekleyen kuruluş ilk sayfanın altında belirtilmelidir.
9. Araştırma makaleleri yayınlanmadan önce bilimsel hakem incelemesine sunulur.
10. Yayınların her türlü sorumluluğu yazarlarına aittir. Yayınlanmayan eserler iade edilmez.