

PAPER DETAILS

TITLE: Toprak Nemi Belirlenmesinde Kullanilan Tansiyometrenin Arazi Kalibrasyonu

AUTHORS: Halil KIRNAK,Yasemin AKPINAR,Hasan Ali IRIK

PAGES: 823-829

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1956153>

Toprak Nemi Belirlenmesinde Kullanılan Tansiyometrenin Arazi Kalibrasyonu

Halil KIRNAK¹, Yasemin AKPINAR², Hasan Ali İRİK^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Adana

²Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri

*Sorumlu Yazar: haliirik42@gmail.com

Geliş Tarihi: 03.09.2021 Düzeltme Geliş Tarihi: 07.09.2022 Kabul Tarihi: 07.09.2022

Öz

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde 2015 yılında yürütülmüştür. Damla sulama sistemi ile sulanan çerezlik kabakta farklı toprak derinliklerinde (30 cm, 60 cm ve 90 cm) tansiyometre kalibrasyonu gravimetrik yöntem baz alınarak kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Tansiyometrenin arazideki performansı derinliğe göre farklılık göstermiştir. Tansiyometrenin farklı derinlikleri için ortalama esaslı hata (MBE) değeri 30, 60 ve 90 cm derinlikleri için sırasıyla 1.62, 1.37 ve 0.58 olarak bulunmuştur. Hata kareler ortalaması (RMSE) değerleri ise 30, 60 ve 90 cm derinlikleri için sırasıyla 4.65, 3.45 ve 1.72 olarak tespit edilmiştir. Ortalama toprak derinliği için tansiyometre ile gravimetrik nem içeriği arasında $Y_{pv-gravimetrik} = 0.76P_v(alet) - 1.568$ eşitliği ve $R^2 = 0.70$ regresyon katsayısı ile ifade edilen bir ilişki bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Toprak nemi, gravimetrik yöntem, tansiyometre.

Field Calibration of Tensiometer Used to Determine Soil Moisture

Abstract

This study was conducted at Agricultural Research and Implementation Center of Erciyes University in 2015. Tensiometer calibration was performed based on gravimetric method for different soils depths (30, 60 and 90 cm) on drip-irrigated seed pumpkin fields. Tensiometer field performance varied with the soil depth. Mean-based error values of tensiometers for soils depths of 30 60 and 90 cm were respectively calculated as 1.62, 1.37 and 0.58. Root mean square error values for soil depths of 30 60 and 90 cm were respectively calculated as 4.65 3.45 and 1.72. A regression equation of $Y_{pv-gravimetric} = 0.76P_v(device) - 1.568$ with $R^2 = 0.70$ was obtained between the tensiometer and gravimetric moisture contents.

Key words: Soil moisture, gravimetric method, tensiometers.

Giriş

Su kaynaklarımızın yaklaşık %74'ünün tarımsal faaliyette kullanılması buna karşın sanayi ve kentsel su gereksinimlerinin hızla artması suyun daha etkin kullanımı konusundaki çalışmalara hız verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle son yıllarda teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler yeni teknik ve teknolojilerin sulama yönetiminde kullanımına olanak sağlamaktadır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, nüfus artışına bağlı olarak gıda gereksinimlerinin artması ve su kaynaklarının

kirlenmesi, mevcut su kaynaklarının daha verimli kullanılması ve ayrıca sulama yönetiminde yeni teknik ve teknolojilerinin kullanımını da vazgeçilmez hale getirmektedir (Kullberg ve ark. 2017; Stagakis ve ark. 2012).

Toprak su içeriğinin doğru bir şekilde belirlenmesi sürdürülebilir toprak ve su kaynaklarının yönetimi açısından oldukça önemlidir (Toureiro ve ark. 2016). Özellikle kültür bitkileri için optimum sulama programının oluşturulması için toprak nem içeriğinin doğru bir şekilde

belirlenmesine ihtiyaç vardır. Toprak neminin belirlenmesi veya tahmin edilmesinde doğrudan ve dolaylı olmak üzere genel olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Toprak neminin doğrudan belirlenmesi gravimetrik esasa göre yapılmaktadır. Ancak gravimetrik esasa göre toprak neminin belirlenmesinin en önemli dezavantajı işçilik ve zaman kaybıdır. Optimum bir sulama programı için bitkinin yetiştirme dönemi boyunca farklı zamanlarda toprak nem örneklerinin alınmasına ihtiyaç duyulduğundan fazla sayıda gravimetrik esasa göre toprak örneklerinin alınması toprak profilinde tahribata da yol açabilir. Bu durum toprakta makro gözeneklerin oluşumunu tetiklemekte ve dolayısıyla topraktaki nem rejiminin değişmesine neden olabilmektedir. Gravimetrik toprak nem içeriğinin bir diğer dezavantajı nemin anlık olarak değil belli bir süreç sonucunda (en az bir günlük) ortaya çıkacak olmasıdır. Tüm bu olumsuzluklara rağmen toprak nemini belirlemede geliştirilen birçok aletin kalibrasyonu için başvuru standart metot gravimetrik yöntem olmaktadır. Dolaylı yöntemler, toprağın bazı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerinden hareketle toprak nem içeriğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu alanda kullanılan en önemli toprak nem ölçüm cihazları; nötronmetre, TDR, alçı blokları, tansiyometre ve diğerleridir. Dolaylı yöntemlerin en önemli özelliği anlık sonuç verebilmesi ve tarlada oluşabilecek tahribatı en aza indirilmesi ve özellikle sulamada otomasyona olanak vermesidir. Yine zaman ve işçilikten çok büyük oranda tasarruf sağlanabilmektedir. Özellikle toprak nem içeriğinin sık aralıklarla belirlenmesi durumunda dolaylı yöntemleri kullanmaktan başka bir alternatifte yoktur. Dolaylı yöntemlerin en önemli dezavantajı maliyetleri ve ayrıca kullanıldığı her koşul için bu aletlerin kalibrasyonuna ihtiyaç duyulmasıdır (Akpınar, 2016).

Bu çalışmada tarımsal uygulamalarda kullanılan tansiyometrenin tarla koşullarında kalibrasyonu yapılmış ve gravimetrik yöntem baz alınarak toprak nemi belirleme hassasiyeti tespit edilmiştir.

Materyal ve Metot

Materyal

Tansiyometre, toprağın su içeriğinin dolaylı bir ölçümü olan toprak matriks potansiyelini belirlemek için kullanılan bir alettir. Tansiyometre, alt ucunda gözenekli- seramik bir uç kısım ile üst aksamında saf su için bir dolmuş deliği ve şeffaf boru içindeki vakumun niceliğini ölçen bir manometreden oluşur (Şekil 1). Vakum göstergesi dışarıda kalacak şekilde ve dikine toprağa yerleştirilen tansiyometrenin içindeki suyun gözenekli seramikten toprağa geçmesi ve bu sırada

bir vakum oluşması, aygıtın temel çalışma prensibine dayanır (Kirkham, 2014).

Tüp içindeki su, topraktaki su içeriği ile dengeye gelene kadar seramik uçtan toprağa doğru sızar. Denge durumundayken, topraktaki ve tansiyometredeki gerilimler birbirine eşittir. Topraktaki nem azaldıkça tansiyometre içerisindeki saf su, toprağa doğru hareket edeceği için tansiyometre içindeki vakum nicel olarak artış gösterecektir.

Tansiyometreler özellikle bitkisel üretimde sulama zamanını düzenlemek için hafif bünyeli topraklarda yaygın olarak kullanılan bir ekipmandır. Tansiyometrelerin en önemli dezavantajı tüm matriks potansiyelini değil 0-85 kPa aralığındaki (bu ölçüm aralığı kullanılan seramik uca bağlı olarak değişebilir) toprak su gerilimini ölçebilmesidir. Manometre üzerindeki 0' değeri doygun toprak koşullarını 100 değeri ise topraktaki nem miktarının azaldığı ve tansiyometre okuma kabiliyetinin azaldığı sınırı göstermektedir (Şekil 1). Tansiyometreler kullanılırken özellikle hava sıkışmasına karşı gerekli önlem alınmalı ve hava pompası yardımıyla gerekli görüldüğü takdirde tansiyometre içindeki hava alınmalıdır. Tansiyometrenin yerleştirildiği noktadaki gerçek matriks potansiyel belirlenirken manometreden okunan değer mutlaka tansiyometre uzunluğunu dikkate alarak düzeltilmelidir (Kirkham, 2014; Çetin, 2003).

Metot

Çalışma, Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama (ERÜTAM) çiftliğinde 2015 yılında damla sulama sistemi ile sulanan çerezlik kabak ekili bir alanda yürütülmüştür. Deneme alanının ortalama yüksekliği 1084 m olup 350 30' doğu boylamları ve 380 41' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Kayseri ilinde karasal iklim hakim olup, yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Uzun yıllar iklim verilerine göre Kayseri ili yıllık ortalama sıcaklığı 10.7 0C, en soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı -1.7 0C, en sıcak ay ise 30.6 0C ortalama ile Temmuz ayıdır. İlde Ocak-Mart, Nisan-Ağustos ve Eylül-Aralık dönemlerinde düşen yağış sırasıyla 113.5 mm, 159.7 mm ve 111.7 mm'dir. Toplam yıllık yağış miktarı ise 384.9 mm'dir. 2015 yılının Mayıs ve Haziran aylarında toplam 140.4 mm yağış düşmüştür. Detaylı meteorolojik veriler Kirnak ve ark. 2019'da verilmiştir. Deneme alanı toprağının tekstürü tınlı olup EC değeri etkili kök derinliğinde 0.197 mmhos/cm, ph değeri ise 8.15 olarak bulunmuştur. Deneme alanına ait toprak ve su analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çerezlik kabak tohumları 5 Mayıs 2015 tarihinde sıra arası 100 cm, sıra üzeri ise 60 cm olacak şekilde elle her ocağa 3 adet tohum konularak 5 cm toprak derinliğine ekimi yapıldı. Ekim yapıldıktan sonra bitki gelişme dönemi boyunca damla sulama sistemi ile farklı seviyelerde sulama suyu uygulanarak toprakta farklı nem düzeylerinin oluşması sağlanmıştır. Kullanılan sulama konuları aşağıda verilmiştir:

Kontrol konusu (I100, etkili kök derinliğindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin tüketilen kısmının tamamı geri verilecek ve her defasında mevcut nem tarla kapasitesine çıkarılacak biçimde sulama suyu) 2- I80 (kontrol konusuna göre uygulanacak olan suyun %80'inin verilmesi) 3- I60 (kontrol konusuna göre uygulanacak olan suyun %60'inin verilmesi) 4- I40 (kontrol konusuna göre uygulanacak olan suyun %40'inin verilmesi) 5- I20 (kontrol konusuna göre uygulanacak olan suyun %20'inin verilmesi) 6- I0 (susuz konu). Tansiyometreler 3 farklı derinliklerde (30-60-90 cm) olacak şekilde her bir sulama konusuna yerleştirilmiştir. Gravimetrik örneklemeler tansiyometreden yaklaşık 0.5 m uzaklıktaki bir alandan toprak burgusu kullanılarak alınmıştır. Tansiyometreden toprak nem okuması yapılırken aynı anda sensörün yerleştirildiği derinlik dikkate alınarak paralelinde gravimetrik toprak örneği de aynı derinlikten alınmıştır. Gravimetrik nem örnekleri alınırken tansiyometrenin yerleştirildiği yer merkez kabul edilerek ve 100 cm çapındaki dairenin farklı farklı bölgelerinden alınmıştır. Gravimetrik nem örneği alınan nokta bir flama ile işaretlenmiş ve bir sonraki ölçümde o noktadan toprak örneği alınmamıştır.

Tansiyometreyi araziye yerleştirmeden önce toprak nem karakteristik eğrisi elde edilmiştir (Akpınar, 2016). Toprak matrik potansiyeli ile gravimetrik veya volümetrik su içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren grafiğe toprak nem karakteristik eğrisi ismi verilir. Toprak nem karakteristik eğrisi toprağın gözenek hacminin dağılımı ile ilgili organik madde içeriği, toprak bünye ve yapısınca etkilenen önemli bir toprak özelliğidir (Or ve Wraith, 1998). Bu eğriyi bulmak amacıyla laboratuvarında basınç kabı aleti kullanılmıştır. İlgili toprak derinliğinden alınan toprak numuneleri saf su ile alttan ıslatılarak doygun hale getirildikten sonra basınç kabı içerisine yerleştirildi ve daha sonra ölçüm yapılacak her bir basınç değeri için kap içerisindeki toprak örneğinden su çıkışı durduğundaki basınç değerine karşılık gelen toprak gravimetrik nem miktarı belirlenmiştir. Bu şekilde farklı basınç değerlerine (10, 15, 33, 65 ve 100 kPa) karşılık gelen toprak nem içerikleri belirlenerek toprak su karakteristik eğrisi oluşturuldu.

Şekil 2

Tansiyometre araziye 3 Haziran 2015 tarihinde her bir konuda ölçüm yapılacak şekilde rastgele ve 3 farklı derinliğe (30, 60 ve 90 cm) yerleştirildi. Okumalar sulama öncesi olmak üzere farklı zamanlarda yapıldı ve okumalara 21.08.2015 tarihinde son verildi. Farklı derinliklerden okunan toprak nem gerilim değerleri, aynı derinliklerden gravimetrik esasa göre belirlenen toprak nem içerikleri ile karşılaştırılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Kalibre edilmiş sensörler ile gravimetrik metod arasında fark olup olmadığı SAS istatistik programında t- testi ile analiz edilmiştir. Ayrıca ortalama esaslı hata (MBE) ve hata kareler ortalaması (RMSE) değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır:

$$MBE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5}$$

Eşitliklerde; n = örnek sayısı, P = aletten okunan değer, O = gravimetrik metoda göre hesaplanan değerdir.

Bulgular ve Tartışma

Arazi koşullarında tansiyometrede okunan cbar değerlerinin toprak nem karakteristik eğrisi üzerinde okunan değer ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem içeriği arasındaki ilişki derinlik bazında Şekil 3'te verilmiştir.

Bitki gelişimi ilerledikçe (ekimden hasada doğru gidildikçe) hemen hemen tüm konularda tansiyon değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir. Her bir sulama konusuna (I0, I20, I40, I60, I80 ve I100) 30 cm derinliğe yerleştirilen tansiyometrede okunan değerlerin ortalamaları sırasıyla 43.5, 50.32, 56.97, 49.75, 30.58 ve 28.14 cbar olarak elde edilmiştir. Tansiyometre 30 cm derinlikten okunan cbar değerlerinin toprak nem karakteristik eğrisi üzerinde okunan değer ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem içeriği arasında $Y_{pv} - \text{gravimetrik} = 1.1977 P_v(\text{alet}) + 3.7731$ ve $R^2 = 0.88$ gibi bir ilişki olduğu bulunmuştur.

60 cm derinliğe yerleştirilen tansiyometre sulama konularında (I0, I20, I40, I60, I80 ve I100) okunan değerlerin ortalamaları sırasıyla 60.47, 45.22, 50.65, 36.9, 36.84 ve 22.86 cbar olarak elde edilmiştir. Tansiyometre 60 cm derinlikten okunan cbar değerlerinin toprak nem karakteristik eğrisi üzerinde okunan değer ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem arasında $Y_{pv} - \text{gravimetrik} =$

0.6818 Pv(alet) + 12.442 ve R²= 0.48 ilişkisi olduğu tespit edilmiştir.

Farklı sulama konularına (I0, I20, I40, I60, I80 ve I100) 90 cm derinliğe yerleştirilen tansiyometrede okunan değerlerin ortalamaları sırasıyla 43.09, 41.68, 52.10, 44.58, 34.22 ve 19.76 cbar olarak elde edilmiştir. Tansiyometre 90cm derinlikten okunan cbar değerlerinin toprak nem karakteristik eğrisi üzerinde okunan değer ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem içeriği arasında $Y_{pv} - \text{gravimetrik} = 0.5572 \text{ Pv(alet)} + 14.392$ ve R²= 0.54 ilişkisi bulunmuştur.

Tüm toprak derinlikleri birlikte değerlendirildiğinde tansiyometrede okunan cbar değerlerinin toprak nem karakteristik eğrisi üzerinde okunan değer ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem içeriği arasında $Y_{pv} - \text{gravimetrik} = 0.7617 \text{ Pv(alet)} + 1.568$ ve R²= 0.70 ilişkisi bulunmuştur.

Tansiyometrenin farklı derinliklerindeki istatistik sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Tansiyometrenin arazide performansı toprak derinliğine göre değişim göstermiştir. MBE sonuçlarına göre en iyi performans sırasıyla 90cm, 60cm ve 30cm derinlikten elde edilmiştir. RMSE sonuçlarına bakıldığında en yüksek performans sıralaması Tansiyometre90cm (1.72), Tansiyometre60cm (3.45), Tansiyometre30cm (4.65), olarak belirlenmiş ve buradan en iyi performans 90 cm derinlikteki tansiyometrede gözlenmiştir. El Marazky ve ark. (2011) arazide yürüttükleri çalışmada 30 ve 30 cm derinliğe yerleştirilen tansiyometrelerin 60 cm derinliğe yerleştirilmesine göre daha iyi bir performans

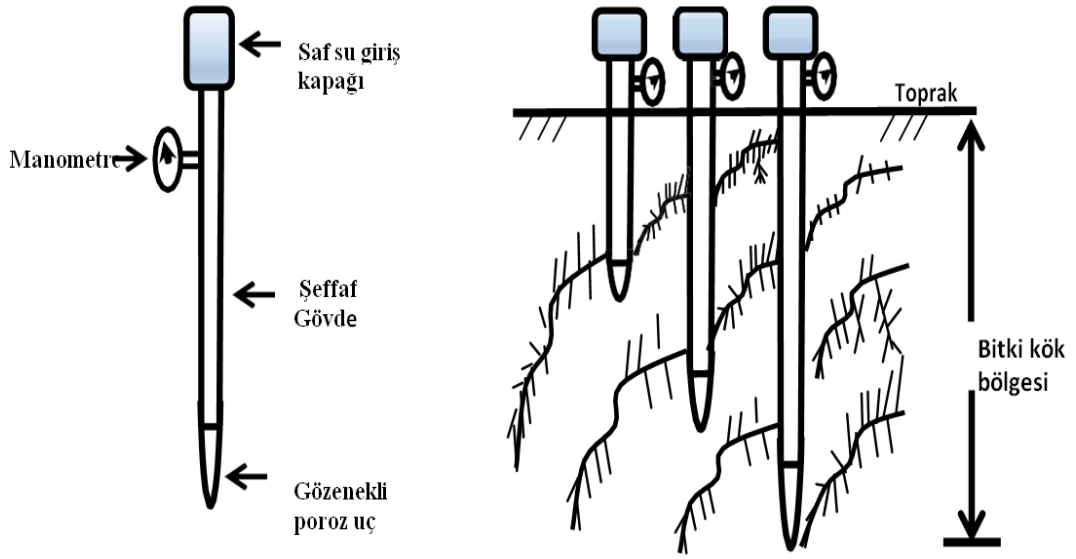
gösterdiğini bildirmişlerdir. Ege bölgesinde pamuk sulamasında karık sulama yöntemi için yapılan çalışmada tansiyometrenin 30 cm derinliğe yerleştirilmesinin daha etkili olduğu bildirilmiştir (Şener, 1985). İstatiksel açıdan incelendiğinde Tansiyometre’den okunan matriks potansiyele karşılık gelen nem içeriği ile gravimetrik esasa göre hesaplanan nem değeri arasındaki ilişkinin t testinde, %5 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir. Bu durum tansiyometre aletinin kalibrasyonun önemli olduğunu ve yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur. Tansiyometre kalibrasyonunda en önemli husus toprak su karakteristik eğrisinin doğru bir şekilde elde edilebilmesidir. Toprak nem karakteristik eğrisinin doğru ve hassas bir şekilde elde edilmesinin önemi bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Rezaei ve ark. 2012; Chandler ve ark. 2004; Munoz-Carpena ve ark. 2008). TSK eğrisini elde etmedeki bir hata tansiyometrenin kalibrasyon çalışmalarına olumsuz katkı verebilir. MBE VE RMSE değerlerine göre Tansiyometre 30 cm ve 60 cm derinliği, 90 cm derinliğe göre daha kötü bir performans göstermiş ve bu sonuç, Little ve ark. (1998) ile uyumlu değildir. Bunun nedeni olarak her iki çalışmadaki mevcut toprak nem içeriğini çok farklı olması gösterilebilir. Ayrıca 30 ve 60 cm toprak derinliği kök gelişiminin en yoğun, dolayısıyla toprak nem dinamiğinin en fazla olduğu derinliktir. 90 cm toprak derinliğindeki nem bitki büyüme periyodu boyunca genellikle sabit bir seviyede eğilim göstermiştir.

Çizelge 1. Deneme alanına ait toprak ve su analiz sonuçları

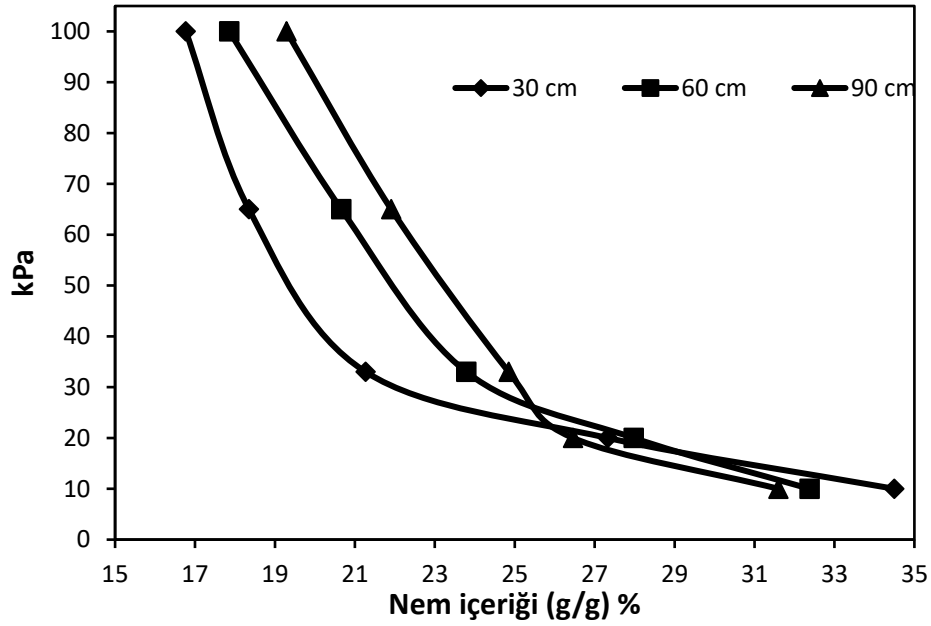
Derinlik (cm)	Tekstür	EC (mmhos/cm)	pH	TK(%) PW	SN(%) PW	Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Organik Madde (%)	Kireç (%)	N (kg/da)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ SO ₄ (kg/da)
0-30	Tınlı	0.220	8.13	25.5	10.73	1.27	1.25	2.54	2.15	2.05	27.16
30-60	Tınlı	0.173	8.17	28	11.38	1.24	1.05	5.83	1.05	1.15	37.64
60-90	Killi Tınlı	0.258	8.14	26	9.38	1.22	0.69	3.15	0.4	0.6	31.01
90-120	Tınlı	0.191	8.23	25	9.37	1.28	0.73	6.20	0.4	0.2	31.01

Çizelge 2. Tansiyometrenin farklı derinliklerindeki istatistik sonuçları

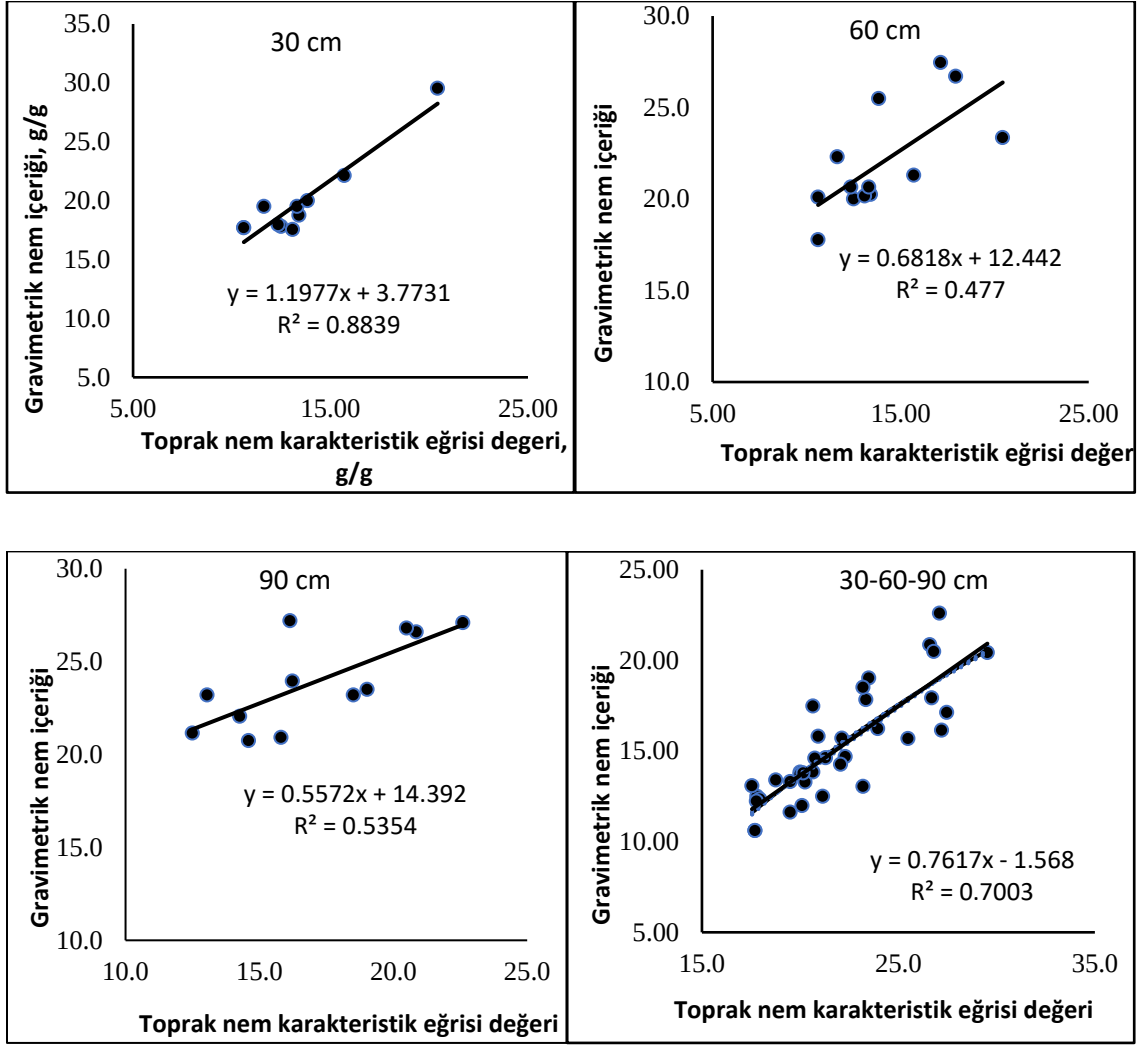
Tansiyometrenin yerleştirildiği derinlik	MBE	RMSE
TSKTansiyometre30cm	1.62	4.65
TSKTansiyometre60cm	1.37	3.45
TSKTansiyometre90cm	0.58	1.72



Şekil 1. Tansiyometrenin genel görünümü ve toprağa yerleştirilmesi



Şekil 2. Toprak nem karakteristik eğrisi



Şekil 3. Farklı derinliklerdeki tansiyometreden okunan değerler ile gravimetrik nem arasındaki ilişki

Sonuç ve Öneriler

Toprak nemi toprakta bulunan su ve hava oranının, bitki cinsine bağlı olarak belirli sınırlar içinde olması, bitkilerin normal gelişmeleri açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, özellikle bitki kök bölgesinde toprak neminin kontrol altında tutulması ve sulama ile verilecek su miktarının yeterli doğrulukta saptanması ve uygulanması gerekmektedir. Toprak neminin ölçülmesi ve nicel olarak tanımlanması, sulama zamanının saptanmasının yanı sıra, toprağa verilecek su miktarının belirlenmesi yönünden önemlidir. Bu çalışmada; gravimetrik olarak elde edilen toprak nem değerleri ile cihazlardan okunan değerler karşılaştırılarak bir kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon eğrisini elde etmek için düzenli aralıklarla hem çerezlik kabak ekili arazide hem de laboratuvarında ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları değerlendirilerek istatistiksel sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tansiyometrenin kullanılmadan önce mutlaka

kalibrasyonunun yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sulama programlamasında tansiyometre kullanılması durumunda $Y_{pv} - \text{gravimetrik} = 0.7617 P_v(\text{alet}) + 1.568$ eşitliği kullanılarak toprak neminin belirlenmesinin uygun olacağı önerilmektedir.

Teşekkür: Bu Çalışma TÜBİTAK TOVAG – 1140225 ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından FYL-2015-5878 nolu proje olarak desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

- Akpınar, Y. 2016. İç Anadolu bölgesinde toprak neminin belirlenmesinde kullanılan bazı toprak nem sensörlerinin değerlendirilmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi.
- Chandler, D.G., Seyfried, M., Murdock, M. ve Mcnamara, J.P. 2004. Field calibration of water content reflectometers. *Soil Science Society of America Journal*, 68(5):1501-1507.
- Çetin, Ö. 2003. Toprak-su ilişkileri ve toprak suyu ölçüm yöntemleri. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Eskişehir Araştırma Enstitüsü Yayınları, 258:25.
- El Marazky, M.S.A., Mohammad, F.S. ve Al-Ghobari, H.M. 2011. Evaluation of soil moisture sensors under intelligent irrigation systems for economical crops in arid regions. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(2):287-300.
- Kırnak, H., İrik, H.A. ve Ünlükara, A. 2019. Potential use of crop water stress index (CWSI) in irrigation scheduling of drip-irrigated seed pumpkin plants with different irrigation levels. *Scientia Horticulturae*. 256:108608.
- Kirkham, M.B. 2014. Principles of soil and plant water relations. Academic Press. Ss. 500.
- Kullberg, E.G., Dejonge, K.C. ve Chavez, J.L. 2017. Evaluation of thermal remote sensing indices to estimate crop evapotranspiration coefficients. *Agricultural water management*, 179: 64-73.
- Little, K.M., Meterlerkamp, B. ve Smith, C.W. 1998. A comparison of three methods of soil water content determination. *South African Journal of Plant and Soil*. 15(2):80-89.
- Munoz-Carpena, R., Dukes, M.D., Li, Y. ve Klassen, W. 2008. Design and field evaluation of a new controller for soil-water based irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(2) 183-191.
- Or, D. ve Wraith, J.M. 1998. Soil physics. *Agricultural and Environmental Department of Plants, Soils and Biometerology*, Utah State University, USA, p.243.
- Rezai, M., Ebrahimi, E., Naseh, S. Ve Mohajerpour, M. 2012. A new 1.4-GHz soil moisture sensor. *Measurement*, 45(7):1723-1728.
- Stagakis, S., Dugo, V. G., Cid, P., Climent, M.L.G. ve Tejada, P.J.Z. 2012. Monitoring water stress and fruit quality in an orange orchard under regulated deficit irrigation using narrow-band structural and physiological remote sensing indices. *ISPRS Journal of Fotogrammetry and Remote sensing*, 71, 47-61.
- Şener, S. 1985. Menemen koşullarında tansiyometreler ve alçı bloklarının pamuk ve bağın sulama zamanının saptanmasında kullanılması. Menemen Bölge Topraksu araştırma Enstitüsü Yayınları No:114.
- Toureiro, C., Serralheiro, R., Shahidian, S. ve Sousa, A. 2016. Irrigation management with remote sensing:evaluating irrigation requirement for maize under mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management*, 184:211-220.