

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 106M231, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (KBAP) 2007/17 nolu projelerin dolaylı olarak sağladığı destekle tamamlanmış olup yazarlar TÜBİTAK ve Kocaeli Üniversitesine teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

1. Vanapoli S.K., Garga V.K., Brisson P., “A modified permeameter for determination of unsaturated coefficient of permeability”, *Geotech Geol Eng* (2007) 25:191–202
2. Benson, C.H., Daniel, D.E., “Influence of clods on hydraulic conductivity of compacted clay”, *Journal of Geotechnical Engineering*, A.S.C.E, Vol.116, No.8, pp. 1231-1248, 1990
3. Mitchell, J., K., “Fundamentals of Soil Behavior”, University of California, Berkeley, USA, 1993
4. Lambe, T. W., Whitman, R. V., “Soil Mechanics”, Wiley, New York, 1969.

ZEMİNLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE BAĞLI OLARAK SU MUHTEVALARININ BELİRLENMESİ

Sami ARSOY
Doç.Dr.
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli, Türkiye

Cüneyt YILMAZ
Arş.Gör.
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli, Türkiye

Erdinç KESKİN
Arş.Gör
Kocaeli Üniversitesi
Kocaeli, Türkiye

ÖZET

Basit ve rutin bir iş olmasına karşın zeminlerin su muhtevalarının hızlı ama doğru belirlenmesi gereklidir. Geleneksel olarak zeminin etüvde kurutulmasına dayanmakta olup zaman alıcıdır. Su içeriğinin hızlı ölçülmesi için farklı yöntemler geliştirilmekte olup bunlardan biri de zeminlerin su muhtevasının dielektrik özelliklerine bağlı olarak dolaylı bir şekilde belirlenmesidir. Bu yöntem bir güç kaynağı yardımı ile üretilen elektromanyetik bir dalganın, iletken çubuklar ile zemine aktarılması ve dalganın hareketine bağlı olarak iletken çubuklar arasında yer alan zeminlerin dielektrik katsayılarının belirlenmesine dayanmaktadır.

Çalışma kapsamında kum numuneleri kullanılmış olup zeminlerin dielektrik katsayısı ile su içerikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçların etüvde kurutma yöntemiyle doğruluğu araştırılmış olup olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Zeminlerin dielektrik katsayılarının bu çalışmada sunulan yöntemle ölçülüp su içeriklerinin hızlı ve mühendislik uygulamaları için kabul edilebilir bir doğrulukla belirlenmesinin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

AMAÇ

Koaksiyal bir iletim hattı iki iletken arasında kalan yalıtkan bir malzemedir ibaret olup, hattın empedansı iletim hattının fiziksel boyutları ve yalıtkanın dielektrik katsayısı ile ilişkilidir. Zeminler için koaksiyal iletim hattı analojisi, zemini yalıtkan bir malzeme ve içerisine metal iletken çubuklar konularak kurulabilir. İletim hattı boyunca üretilen bir dalganın gerilimi (voltajı) ile, zemin ortamında ilerleyen dalganın gerilim genlikleri arasındaki fark zeminlerin dielektrik katsayıları ile ilişkilidir. Zeminler üç bileşenli olup,

hava, su ve zemin danelerinden oluşur. Bu üç bileşenin elektromanyetik özellikleri farklılık gösterir. Bağıl dielektrik katsayısı daha çok kullanım bulmakta olup bir malzemenin dielektrik katsayısının vakumun dielektrik katsayısına oranı olarak tariflenir. Bu değer, zemin bileşenlerinden hava için $K_a=1$, zemin daneleri için $K_{zemin}=2$ ila 5 ve su için $K_{su}=80,18$ olarak belirir. Dielektrik katsayıların zemin bileşenleri için böylesine özel bir dağılıma sahip olması, herhangi bir zemin numunesinin ölçülen dielektrik katsayısının büyük çoğunlukla içerisindeki su içeriğine bağlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu özellik, zemin gibi geçirgen ortamların su muhtevalarının bulunması için dielektrik tekniğinin kullanımına yol açmaktadır. Buradan hareketle zeminlerin dielektrik katsayıları ile su muhtevaları arasındaki ilişki belirlenir.

Bu çalışmada, farklı sıklık ve su içeriğindeki zeminlerin, bir ölçüm probu yardımıyla voltaj genliklerinin tespiti yapılarak zeminlerin dielektrik katsayılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Dielektrik katsayısı yardımı ile zeminlerin hacimsel su muhtevalarının belirlenmesi ve buradan da gravimetrik su muhtevalarının tespiti yine bu çalışma kapsamındadır. Sonuçların etüv yöntemi ile tutarlılığının kontrolü de yine bu çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır.

ZEMİNLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Zeminin su bileşeninin diğer bileşenlerinden çok daha yüksek dielektrik katsayısına sahip olması uzun yıllar önce araştırmacıların dikkatini çekmiş ve üç bileşenli bir malzeme olan zeminin su içeriğinin bulunması çabalarına yol açmıştır.

Drake ve diğ. (1) ve Wyman (2), sulu solüsyonlar hazırlayarak dielektrik ölçümleri yapmışlardır. 1970'li yıllarda hava ile doldurulmuş koaksiyal kablolar vasıtası ile hazırlanmış iki adet zemin numunesi için dielektrik ölçümlerinde, kuru yoğunluğun, su muhtevalarının ve etki frekansının (30 MHz – 4 GHz) etkileri incelenmiştir.

Zeminlerde elektromanyetik alanın neden olduğu dağıtıcı özellikler ile oluşan ortam kayıpları dikkate alınır. Bağıl dielektrik katsayısı K (birimsiz), bir partikülün elektromanyetik alanın etkisinde kendisini sıraya koyma yeteneği ile ilgilidir ve arasında iletken olmayan malzeme bulunan elektrik yüklü levhaların potansiyelinin (ϵ), içinde hava bulunan özdeş levhaların potansiyeline (ϵ_0) oranı olarak belirlenir.

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon' \quad (1)$$

Bu ifade K ile ϵ' (*permittivity*) değerlerinin eşanlamlı olduğunu belirtir ve ifadedeki ϵ_0 değeri 8.85 pF m^{-1} dir (3). K değeri, dielektrik materyalin elektriksel olarak hareketlenmiş kutuplaşmasına ve yüke maruz kalmış alanın açısal frekansına (ω) (4). Zemin elektriksel kayıpların meydana geldiği iletken bir ortamdır. Bu kayıpların miktarı dielektrik (*permittivity*) olarak belirlenir.

$$K^* = K' - jK'' \quad (2)$$

Burada K^* (veya *permittivity* olarak da adlandırılan ϵ^*) karmaşık dielektrik olarak isimlendirilir. K' ve ϵ' reel dielektrik bileşeni olup K'' imajiner dielektrik bileşeni (ϵ'') dir. j ise $(\sqrt{-1})$ e eşittir. İmajiner bileşenin reel bileşene oranı 3 numaralı ifadede gösterildiği üzere elektriksel alan ve dielektriğin tepkisi arasında oluşan geciken faz olarak tanımlanır.

$$\tan \delta = \frac{(K'' + \frac{\sigma_0}{\omega_f \epsilon_0})}{K'} \quad (3)$$

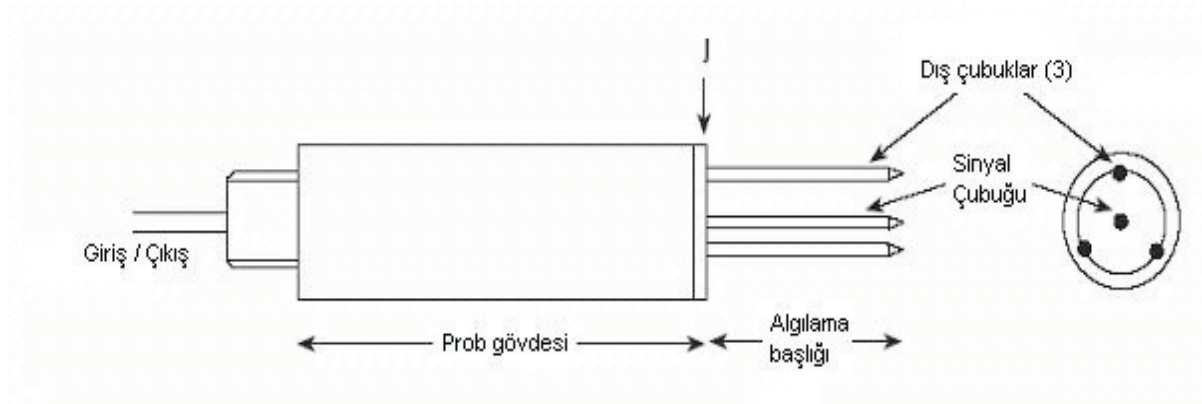
Burada σ_0 , dc akım veya sıfır frekans iletkenliği ve ω_f ise açısal frekans değerleridir. Genelde $\tan \delta$ değerinin 1 den küçük olduğu varsayılır. Kayıplar olduğu durumlarda veya tuzluluk koşullarında ve daha yüksek su muhtevası koşullarında, bu yaklaşım doğru değildir (4). Bu durumda imajiner dielektrik şu şekilde belirlenir.

$$K^* = K' + j(K'' + \frac{\sigma_0}{\omega_f \epsilon_0}) \quad (4)$$

$K' \gg K''$ olduğu varsayılırsa ölçülen dielektrik basitleşir ve görünen dielektrik (K_a) olarak adlandırılır, bu durumda imajiner dielektrik $K_a \approx K^*$ olur. Bu ilişki için $\tan \delta \ll 1$ olur.

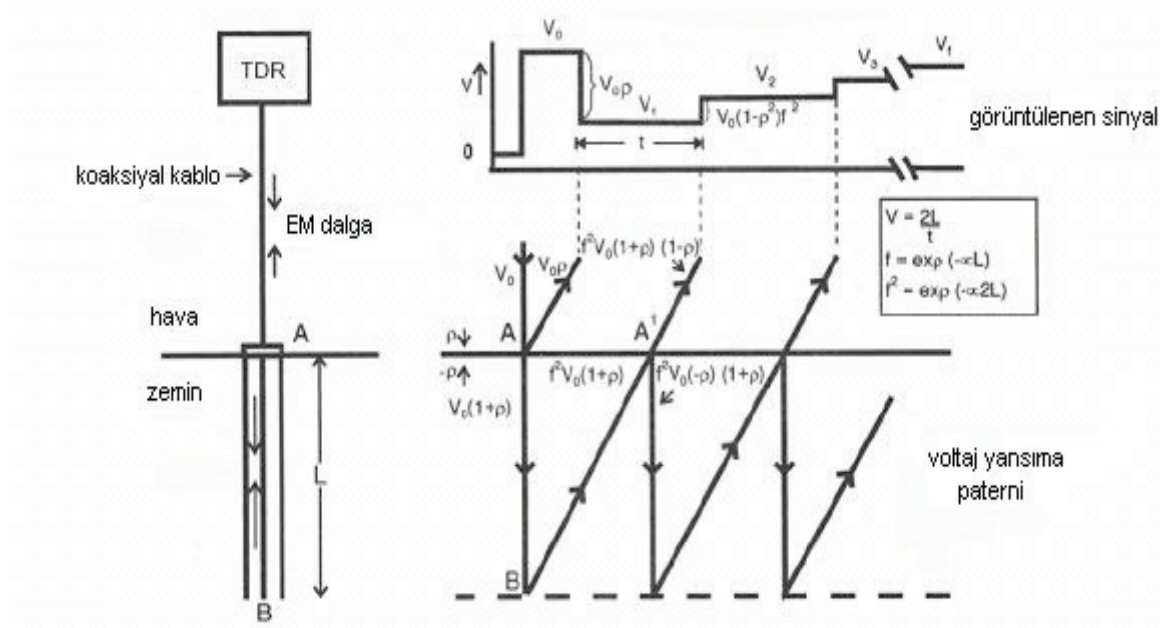
ÖLÇÜM PROBUNUN ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Çalışmada dielektrik katsayısına bağlı olarak zeminlerin su muhtevasını belirlemek için bir ölçüm probu kullanılmıştır. Ölçüm probu, içinde elektroniğe sahip su geçirmez bir gövdeye sahiptir ve gövdenin sonunda zeminin içine batırılan 4 adet çelik çubuk bulunmaktadır.



Şekil 1. Ölçüm Probu'nun Kesiti (5)

Prob, 100 Mhz lik sinüzoidal bir sinyal üretir ve bu sinyal, prob içindeki iletim hattından metal çubuklara ve onlar aracılığı ile de zemine iletilir. Dalga probun sonunda, bir empedans (direnç) ile karşılaştığı için geri yansır. Aşağıdaki şekilde dalganın yansıması görülmektedir.



Şekil 2. Üretilen Elektromanyetik Dalganın Hareketi (6)

Üretilen elektromanyetik dalga, belirli bir empedansa (Z_0) sahip olan bir koaksiyal hat boyunca ilerlemektedir. Bu esnada üretilen dalga belirli bir voltaj (V_0) seviyesindedir. İletim hattı ucundaki probun zemine yerleştirilmesidir. Dalga bu ortama geldiği zaman farklı bir empedansa (Z_1) sahip bir ortama girdiği için gelen dalganın bir kısmı her iki ortamın

empedanslarına bağı olan bir yansıma katsayısı (ρ) miktarı kadar geri yansırken bir kısmı zemin içindeki prob boyunca harekete devam eder. Yansıma katsayısı;

$$\rho = (Z_1 - Z_0)/(Z_1 + Z_0) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. Dalganın bu esnada sahip olduğu voltaj V_1 olarak değişmiştir. Probun ucunda artık tamamen zemin ortamı söz konusu olduğu için dalga buradan geri yansır.

İletim hattı başlangıcındaki pik voltaj (V_0);

$$V_0 = a(1 - \rho) \quad (6)$$

a : Osilatör çıkışının voltaj genliği

Bağlantı yerindeki pik voltaj (V_1);

$$V_1 = a(1 + \rho) \quad (7)$$

genlik farkı ise;

$$V_j - V_0 = 2a\rho \quad (8)$$

Voltaj sevipleri arasındaki genlik farkından zeminlerin dielektrik katsayıları ve buna bağı olarak da hacimsel su muhtevaları (suyun toplam hacminin, zeminin toplam hacmine oranı) belirlenir.

$$\sqrt{K} = a_0 + a_1\theta \quad (9)$$

Burada; a_0 ve a_1 , laboratuarda belirlenen kalibrasyon katsayılarıdır.

Bu katsayılar çalışma kapsamında kullanılan prob için üretici tarafından mineral ve organik zeminler için belirlenip cihaza tanıtılmıştır. Cihaz bu katsayıları baz alarak okuma yapmaktadır. Bu katsayılar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Genelleştirilmiş Kalibrasyon Katsayıları

	a_0	a_1
Mineral zeminler	1,6	8,4
Organik zeminler	1,3	7,7

Daha detaylı çalışmalar için, her zeminin kalibrasyon katsayıları laboratuarda belirlenip, cihaza bu değerler girilmeli ve ölçümler alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında okunan tüm değerler cihazın mevcut kalibrasyonu baz alınarak elde edilmiştir. Aşağıda verilen ifade

yardımları ile zeminlerin gravimetrik su muhtevaları (suyun toplam ağırlığının, zemin partiküllerinin ağırlığına oranı) belirlenir.

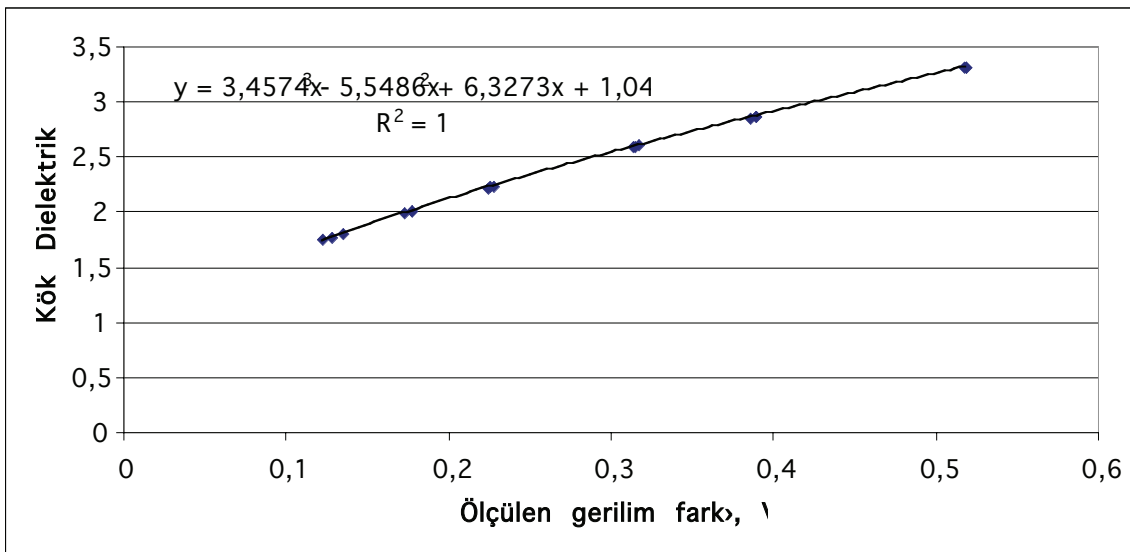
$$\theta = w \frac{\rho_d}{\rho_w} \quad (10)$$

ρ_d ve ρ_w , sırasıyla zemin danelerinin ve suyun yoğunluğudur.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, SP, SP-SM ve SW olmak üzere üç farklı kum numuneleri üzerinde farklı su muhtevaları ve sıklıklarda ölçümler yapılmıştır. Farklı su muhtevalarındaki kum numuneleri hacmi belli olan standart proktor kalıplarında 3 farklı enerji seviyesinde sıkıştırılmıştır. Prob ucundaki metal çubuklar zemin içine sokularak ölçüm alınmış ve zeminlerin hacimsel su muhtevaları daha önce açıklanan şekilde tespit edilmiştir. Buradan da gravimetrik su muhtevaları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, numunelerin etüvde standart yöntemle kurutulmasıyla da karşılaştırılıp kontrol edilmiştir.

Tüm zemin numuneleri için ölçülen gerilim farkları ve zeminin dielektrik özellikleri, ölçülen hacimsel su muhtevalarından belirlenen gravimetrik su muhtevaları ve etüv su muhtevaları arasındaki ilişkiler aşağıda sunulmuştur. Şekil 3, 5 ve 7 de sırası ile SP, SP-SM ve SW zeminleri için ölçülen gerilim farkları ile dielektrik katsayıları arasındaki ilişkiler verilmiştir.

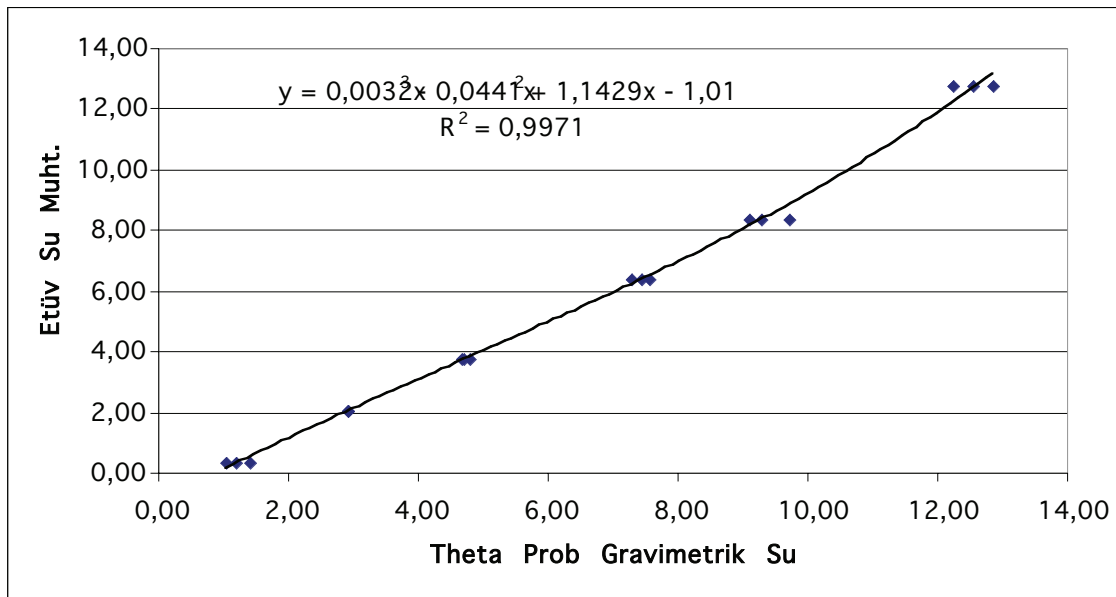


Şekil 3. SP Zemini için Ölçülen Gerilim Farkı ile Dielektrik Katsayısı Arasındaki İlişki

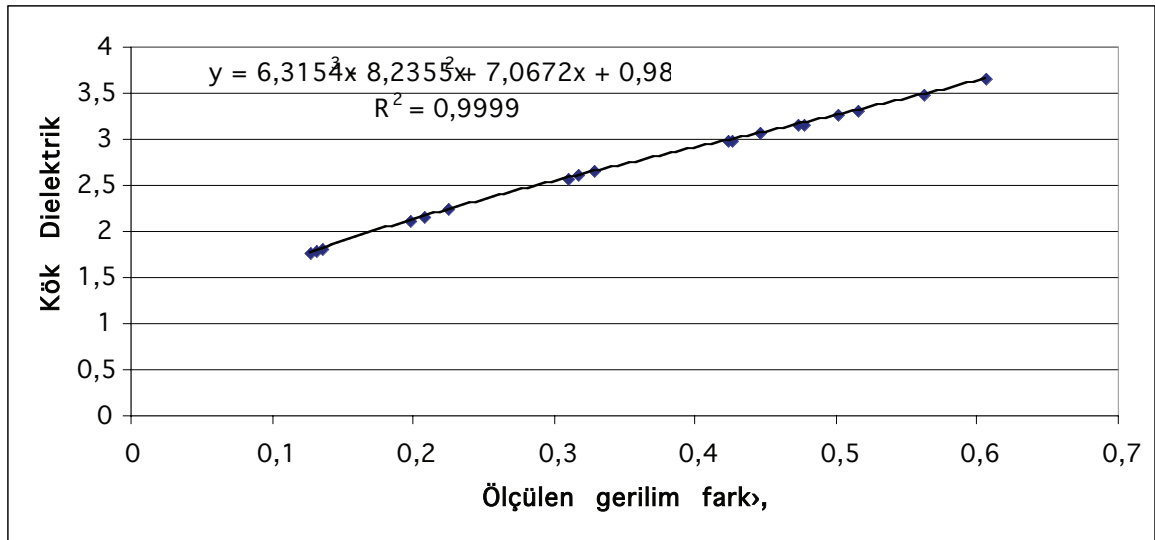
Ölçülen gerilim farkı ile dielektrik katsayısının karekökü arasında üçüncü dereceden bir ilişki söz konusudur, mevcut cihazın kalibrasyonu ile yapılan ölçümlere göre SP zemin için bu ilişki bağıntı 11’deki gibidir.

$$\sqrt{K} = 3,4574V^3 - 5,5486V^2 + 6,3273V + 1,0419 , R^2=1 \quad (11)$$

Bilindiği gibi zeminlerin hacimsel su muhtevası ile gravimetrik su muhtevası arasında, zeminlerin kuru yoğunluklarına bağlı olarak değişen (10 nolu ifade) bir ilişki söz konusudur. Çalışma kapsamında prob ile dolaylı olarak elde edilen gravimetrik su muhtevaları ile etüv su muhtevalarının karşılaştırılması Şekil 4’de SP zemini için gösterilmektedir.



Şekil 4. SP Zemini için Theta Prob ile Dolaylı Yoldan Bulunan Gravimetrik Su Muhtevası ve Etüv Su Muhtevası Arasındaki İlişki



Şekil 5. SP-SM Zemini için Ölçülen Gerilim Farkı ile Dielektrik Katsayısı Arasındaki İlişki

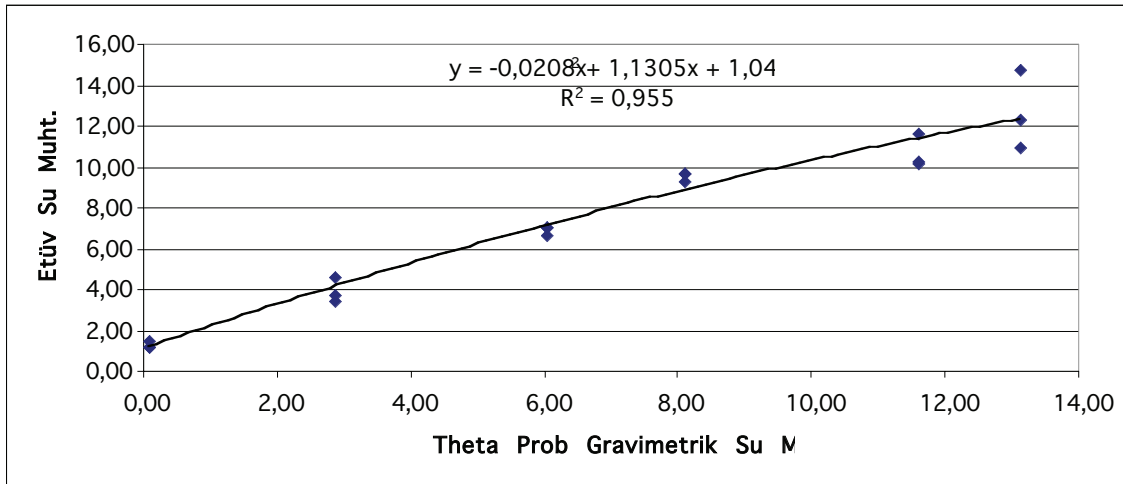
SP-SM için gerilim farkı ile dielektrik katsayısının karekökü arasındaki ilişki bağıntı 12 ile gösterilmekte olup gravimetrik su muhtevası ve etüv su muhtevasının tutarlılığı ise Şekil 6' da sunulmaktadır.

$$\sqrt{K} = 6,3154V^3 - 8,2355V^2 + 7,0672V + 0,9849, R^2=0,9999 \quad (12)$$

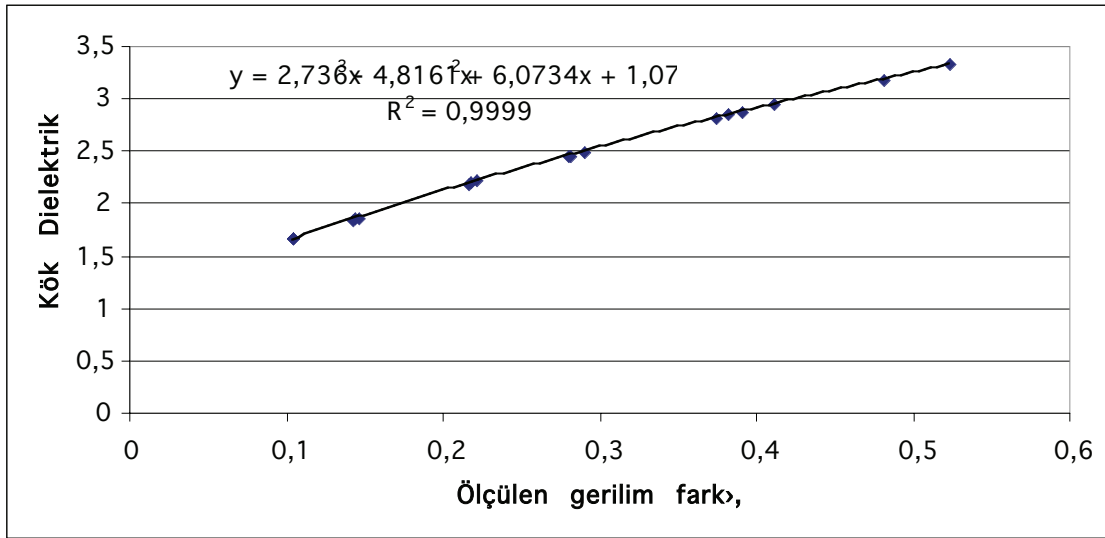
SW için gerilim farkı ile dielektrik katsayısının karekökü arasındaki ilişki Şekil 7 ile gösterilmekte olup bağıntı 13 ile ifade edilebilir.

$$\sqrt{K} = 2,736V^3 - 4,8161V^2 + 6,0734V + 1,0706, R^2=0,9999 \quad (13)$$

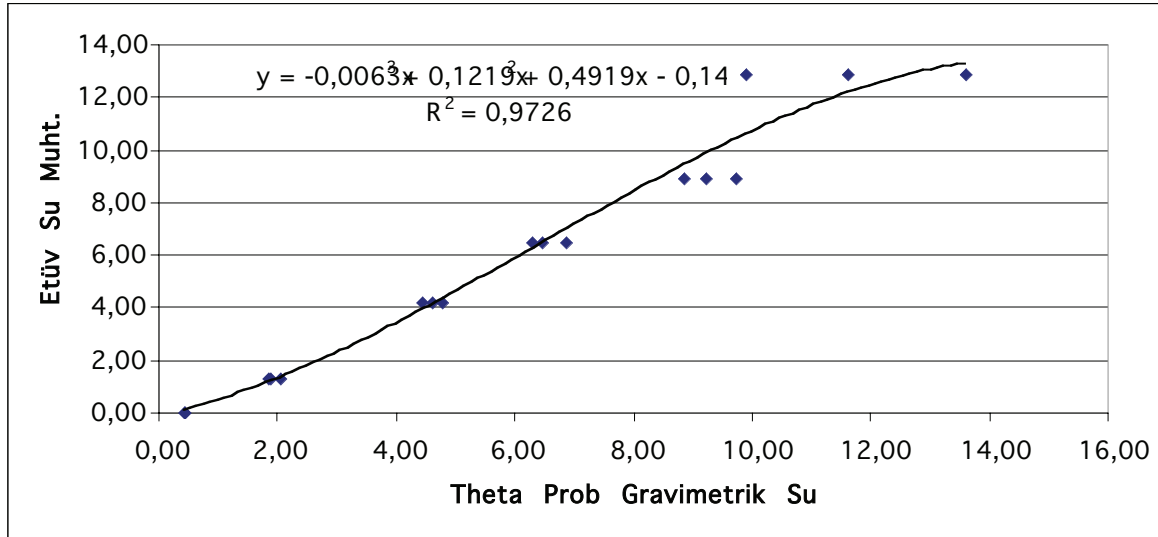
Gravimetrik su muhtevası ve etüv su muhtevası ilişkisi ise Şekil 8'deki gibidir.



Şekil 6. SP-SM Zemini için Theta Prob ile Dolaylı Yoldan Bulunan Gravimetrik Su Muhtevası ve Etüv Su Muhtevası Arasındaki İlişki



Şekil 7. SW Zemini için Ölçülen Gerilim Farkı ile Dielektrik Katsayısı Arasındaki İlişki



Şekil 8. SW Zemini için Theta Prob ile Dolaylı Yoldan Bulunan Gravimetrik Su Muhtevası ve Etüv Su Muhtevası Arasındaki İlişki

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

- Çalışmada, cihazın üretmiş olduğu voltaj genlikleri farkları ile zeminlerin dielektrik katsayıları arasındaki ilişki belirlenmiştir. Aralarındaki bu ilişkiyi en iyi üçüncü derece polinom vermektedir. Regresyon katsayısı bire çok yakındır.
- Ölçüm probu ile dolaylı olarak zeminlerin hacimsel su muhtevaları belirlenmiş ve buradan da gravimetrik su muhtevaları hesaplanmıştır. Sonuçların tutarlılığı için standart etüv

yöntemi uygulanmış olup her iki ölçüm değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bazı değerlerin tam olarak örtüşmemekte olduğu belirtilmelidir. Bunun nedeni ise çalışmada her bir zemin için ayrı ayrı kalibrasyon katsayılarının belirlenmemiş olmasıdır.

- Bu çalışma kumlu zeminler üzerinde yapılmış ve dielektrik katsayısına bağlı olarak zeminlerin su muhtevasının tespitinin uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Killi zeminler üzerinde de benzer çalışmalar yapılarak çalışmanın geliştirilmesi planlanmaktadır.
- Cihazın mevcut kalibrasyonu yerine her zemin için farklı kalibrasyon katsayıları da belirlenerek çalışmanın kapsamının geliştirilmesi konusu önemli olup ileriki çalışmalarda bu konuya özel önem verilmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 106M231 No' lu projenin sağladığı ana destekle tamamlanmıştır. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK' a teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

1. DRAKE, F.H., PIERCE, G.W. and DOW, M.T., 1930., "Measurement of the Dielectric Constant and Index of Refractions of Water and Aqueous Solutions of KCL at High Frequencies", Physical Reviews, 35:613 – 622.
2. WYMAN, J., 1930, "Measurement of the Dielectric Constants of Conducting Media", Physical Review, 35:623 – 634
3. VON HIPPEL, A.T., 1954, "Dielectric Materials and Applications.", MIT Pres, Cambridge, USA.
4. WHITE, I. and ZEGELIN, S.J., 1995. "Electric and Dielectric Methods for Monitoring Soil – Water Content." In : (eds. L.G. Wilson, L.G. Evert and S.J. Cullen), Handbook of Vadose Zone Characterization and Monitoring. CRC Pres, Boca Raton, pp 343 – 385.

5. G.J. GASKIN, J.D. MILLER, 1996, "Measurement of Soil Water Content Using a Simplified Impedance Measuring Technique", Journal of Agricultural Engineering Research, Vol.63, pp.153 – 160
6. TOPP, G.C., ZEGELIN, S.J. and WHITE, I., 1994. "Monitoring soil water content using TDR: an overview of progress", Symposium and Workshop on Time-domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications., bureau of Mines, SP 19 – 94, pp 56 – 65.