



Araştırma Makalesi/Research Article

Toprak Nemi Belirlenmesinde Kızılötesi Teknolojinin Kullanımı

Anıl Çay^{1*} Ali Aydoğdu¹ Habib Kocabıyık¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü,
Terzioğlu Kampüsü, 17100, Çanakkale

*Sorumlu yazar: anilcay@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.04.2018

Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Toprak neminin hızlı ve doğru bir biçimde belirlenmesi bazı tarımsal uygulamalar için hayati öneme sahiptir. Toprak neminin tahminlenmesi üzerine yıllar boyunca geliştirilen doğrudan ve dolaylı özellikleri kullanarak tahmin yapan birçok farklı metot bulunmaktadır. Bu metotların farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Doğrudan ağırlık tabanlı nem tayini genellikle en doğru sonucu vermektedir ancak, oldukça büyük zaman ve iş gücü gereksinimi bulunmaktadır. Dolaylı yöntemlerde ise toprak nemi, elektriksel iletkenlik, radyoaktif tepkiler gibi toprağın farklı özelliklerinden yararlanılarak nem tahmini yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde oldukça karmaşık kalibrasyon işlemlerine ve ek analizlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışmada toprak nem tayini için, birçok alanda kullanımı yaygınlaşan infrared (IR) teknolojisinin ağırlık bazlı (gravimetrik) yöntemine alternatif olabilme durumu araştırılmıştır. Geliştirilen sistemin başarısını test etmek için sekiz farklı nem içeriğine sahip örneklemelerin geleneksel ve IR yöntemiyle nem tayinleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Denemelerde üç farklı IR gücü (2358 W m^{-2} , 3165 W m^{-2} and 4187 W m^{-2}) kullanılmıştır. Varyans analizi, çoklu karşılaştırmalar ve ortalama yüzdesel mutlak hata (MAPE) testleri yapılarak yöntemler arası farklılıkların önemlilik durumları incelenmiştir. Sonuçta, ele alınan tüm nem seviyeleri ve IR güçleri arasında geleneksel ve IR yöntemleri arası istatistiksel bir fark belirlenmemiştir. Her iki yöntem arası kolerasyon katsayıları, güç yoğunlukları için sırasıyla 0,966, 0,964 ve 0,979 ile oldukça yüksek olarak belirlenmiştir. Tüm denemeler için ise kolerasyon katsayısı 0,979 olmuştur. 4187 W m^{-2} güç yoğunluğu en düşük MAPE'ye sahip güç seviyesi olmuş ancak, yöntemler arası istatistiksel fark önemsiz bulunmuştur. IR yönteminin zaman gereksinimi ortalama 34,75 dakika olurken, geleneksel yöntemin 24 saattir. Sonuç olarak geliştirilen IR tekniği tüm güç seviyeleri için oldukça hızlı ve doğru toprak nemi tahminlemesi yapabilmektedir. Ayrıca IR yönteminin karmaşık kalibrasyona ve ek analizlere de ihtiyacı olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Toprak nem tayini, kızılötesi teknoloji, gravimetrik yöntem.

Using Infrared Technology to Detect Soil Moisture Level

Abstract

Accurate and rapid measurement of soil moisture is vital for some agricultural applications. The development of various measurement methods with different advantages has been ongoing for years to determine soil moisture. The direct measurement method is based on weight change and gives the most accurate result, but it requires a long time and labour. In indirect methods, soil moisture is generally estimated by using different soil properties such as soil electrical conductivity, electrical resistance change and radioactive reactions in the soil. Indirect methods needs complex calculation and calibration processes and additional analysis. In this study, the possibility of using infrared technology as an alternative to the conventional measurement method based on gravimetric measures was investigated to define soil moisture. The success of the developed technique was tested by comparing the conventional measurements on the soil samples with eight different moisture content. Three different radiation intensities (IR) (2358 W m^{-2} , 3165 W m^{-2} and 4187 W m^{-2}) were used for soil drying. Variance analyses, multiple comparisons and MAPE (mean absolute percentage error) values were used to determine the differences between infrared and conventional methods. It was determined that the difference between the conventional and infrared methods for all power levels was not statistically significant. The correlation coefficients between moisture values of the conventional and infrared were determined as 0.966, 0.964 and 0.979 at given IR levels, respectively. For all experiments, the correlation coefficient was defined as 0.979. Although the lowest MAPE values were determined using 4187 W m^{-2} of IR, there was no statistical difference between the MAPE values of IR levels. The time requirement in the conventional method is at least about 24 hours. It was decreased to 34.75 minutes with IR technique. The IR technique yielded very fast and correct results and there was no need for complex calibration procedures.

Keywords: Soil moisture determination, infrared technology, gravimetric method.



Giriş

Toprak, çevre faktörlerinin etkisi altında kalarak yeryüzü üzerindeki mineral ve organik maddelerin değişimiyle ortaya çıkmış bir üründür. Bitkiler için yaşam alanı, hayvanlar ve özellikle insanlar için ise yaşamın her alanında temel hammadde kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Aydın ve Kılıç, 2010). Hatta çevre ve insanlar için zararlı olan birçok madde için de geri dönüşüm kaynağı olarak kullanılmaktadır. Toprağı fiziksel özellikleri bakımından incelediğimizde, özellikle bitkisel üretim için önemli bir yere sahip olan toprağın ilk olarak katı, sıvı ve gaz fazları akla gelmektedir (Yeşilsoy ve Aydın, 1991). Toprağın katı fazı, mineral madde ve organik maddelerdir. Sıvı fazı ise sudan oluşmaktadır.

Toprak nemi, toprağın içerisindeki su miktarı ya da toprağın su tutma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Su, dünya üzerindeki bütün canlıların yaşamını idame edebilmesi için ne kadar gerekli ise, toprak canlıları için de nem aynı hayati öneme sahiptir. Toprak bünyesinde suyun yararlanamayacak düzeyde az olması toprak canlılarını toprak içerisinde yaşayamaz hale getirir. Topraktaki su, toprağın su tutma kapasitesinden fazla olursa da toprağa ve topraktaki yaşama zarar verir (Uytun ve ark., 2013). Bu sebeplerden dolayı toprak neminin doğru bir şekilde ölçülmesi bir gerekliliktir. Topraktaki verimliliği arttırmak ve toprak yapısını korumak için toprak neminin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi de oldukça önemlidir. Bitkiler için faydalı olan sulama suyu zamanlaması, drenaj ve havalanma gibi amaçlar için de toprak nem seviyesinin doğru bir şekilde tespiti gereklidir (Munsuz, 1982). Bugüne kadar nem tayini için birçok yöntem kullanılmış ve halen kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu yöntemler toprağın ilk ağırlığından yola çıkarak zaman içerisinde kaybettiği nem miktarına dayalı ağırlık değişimi tabanlı (gravimetrik) doğrudan yöntemler ve toprak özelliklerinden yararlanılarak nem tahmini yapılan dolaylı yöntemler olarak iki ana başlıkta incelenebilir. Doğrudan ağırlık tabanlı nem tayini genellikle en doğru sonucu vermektedir ancak, oldukça büyük zaman ve iş gücü gereksinimi vardır. Dolaylı yöntemlerde ise toprak nemi, elektriksel iletkenlik, radyoaktif tepkiler ve direnç değişimi gibi toprağın farklı özelliklerinden yararlanılarak nem tahmini yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde oldukça karmaşık kalibrasyon işlemlerine ve ek analizlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Bazı dolaylı yöntemler ise oldukça pahalıdır. En sık kullanılmakta olan gravimetrik yöntem, minimum 24 saat gibi uzun bir süre gerektirmekte olup, farklı ve çok sayıda örnek analizinde bu durum önemli zaman tüketimine neden olmakta ve verilerin elle işlenmesinden dolayı bu yöntemde hatalar yapılabilmektedir.

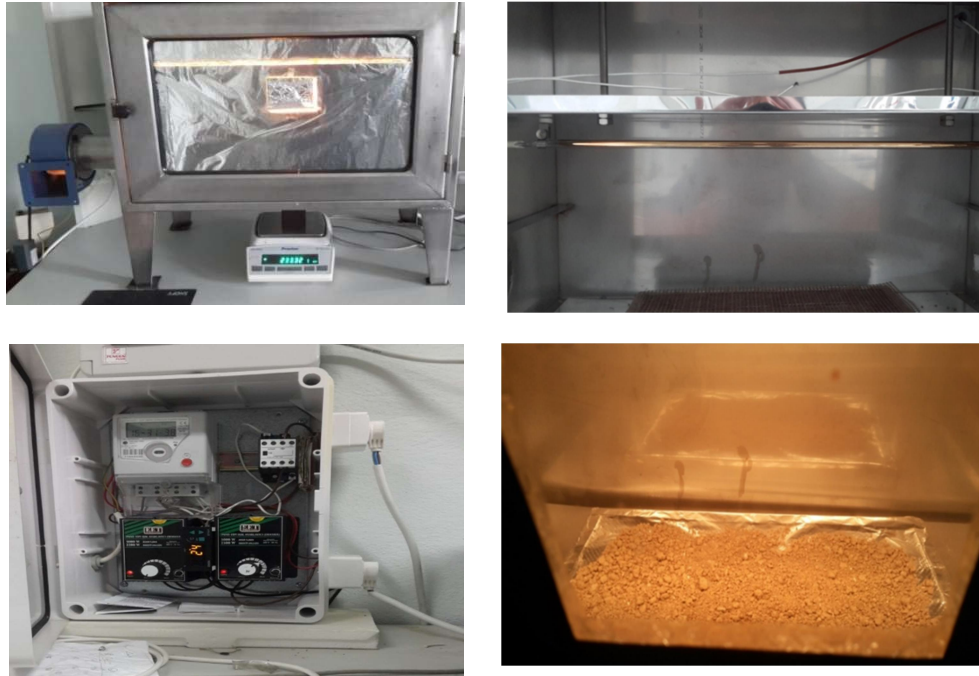
İnfrared (IR) radyasyon ilk olarak 1800'lü yıllarda William Herschel tarafından keşfedilmiştir (Skjöldebrand, 2001). İnfrared radyasyon elektromanyetik bir enerjidir. Elektromanyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga bölgeleri arasında yer almaktadır (Sakai ve Mao, 2006). Belirli bir dalga boylarına sahiplerdir. Dalga boylarına göre; kısa dalga, orta dalga, uzun dalga olmak üzere kızılötesi ışınlar üçe ayrılmaktadır (Fasina, 2003). İnfrared tekniğinin son zamanlarda meyve ve sebze kurutmadaki kullanımı hızla artmaktadır. Tarımsal ürünlerin ısıyı iletme oranları azdır. Zayıf kuruma karakteristiği ve besin kayıpları diğer kurutma yöntemlerinde IR'ye göre fazladır (Hebbbar ve ark., 2004). İnfrared ısı kaynaklarının; kurutma süresini azaltması, enerji kullanım verimliliği, ayar kolaylığı ve hassaslığı, kullanım gibi avantajlarının olması kızılötesi kaynakların kurutma amacıyla kullanımı pek çok denemede saptanmıştır (Kocacıyık ve ark., 2012; Papp ve ark., 2002).

Bu çalışmada klasik bir nem tayini yöntemi olan kurutma fırınının kullanıldığı ağırlık esaslı gravimetrik yöntem alternatif olabilecek ve son yıllarda kurutma konusunda üzerinde sıklıkla çalışılan kızılötesi teknolojisinin toprak nem tayini amacıyla kullanım durumu ve başarısı araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada sekiz farklı nemlere sahip olan toprak örnekleri kullanılmıştır. Toprak örneklemeleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos yerleşkesinde bulunan deneme alanlarından yapılmıştır. Arazinin toprak yapısı, 399 g/kg kum, 298 g/kg silt ve 304 g/kg kil içermekte ve killi tın toprak yapısına sahiptir (Özcan ve ark., 2004). Toprak örneklerinin ortalama PH değeri 7,69, organik karbon oranı %0,79 ve hacim ağırlığı ise ortalama 1,31 g/cm³'tür (Özpınar ve Çay, 2006).

Toprak örnekleri, 0-40 cm toprak derinliklerinden harmanlanarak toplanmıştır. Örneklemeler nem düzeylerini çeşitlendirmek için sekiz farklı zamanda alınmıştır. Her bir örnekleme üçer tekrarlı olarak alınmış ve toplamda 8 farklı örnek incelenmiştir. Toprak örneklemeleri Eijkelkamp marka bozulmamış toprak örnekleme silindirleri ile yapılmıştır. Etüvde ve IR düzeneğinde kurutmaların yapılabilmesi için alüminyum petri kapları kullanılmıştır. Etüv fırını, Nüve marka FN 300 model kurutma fırınıdır. Etüvün çalışma aralığı 50-300°C'dir. Kapasitesi 22 litredir. Sıcaklık ve zaman kullanımı için dijital göstergeler üzerinde mevcuttur. Tartımlar için Precisa marka XB3200C tipi hassas terazi kullanılmıştır. IR kurutma düzeneği olarak ise, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, Kocabıyık ve ark., (2012) tarafından geliştirilen kızılötesi enerji ile çalışan kurutma düzeneği kullanılmıştır. Kurutma kabini nin ebatları 500x500x300 mm boyutundadır. Yapıldığı malzeme nikel alaşım lı olup, malzeme kalınlığı ise 2 mm'dir. Kurutma kabini nin iç kısımlarına alüminyum folyo giydirilmiştir. İnfrared ışın kaynağı olarak kullanılan kızılötesi lamba, 1500 watt gücünde kısa dalga boyunda (1.0 – 1.4µm) IR lamba konumlandırılmıştır. Kullanılan lamba fırını nın tavanına monte edilmiştir. Lambada farklı güç ile çalışmayı sağlamak için enerji besleme kaynağına voltaj değiştirici monte edilmiştir. İçerideki buharlaşan nem ve havanın dış ortama atılması için farklı hızlarda çalışan fan mevcuttur. Fanın farklı hızlarda çalışmasını sağlamak için doğru akım ile beslenmiş ve doğru akım adaptörü ile bu hızlar kontrol edilip ayarlanabilmektedir. Kurutma hava hızının ölçümünde SILVA marka Alba-Windwatch model hızölçer kullanılmıştır. Kurutma sırasında örneklerin üzerine koyulduğu 400x250 mm ebatlarında kurutma tepsisi mevcuttur. Kurutma tepsisi tel ızgaradan yapılmıştır ve denemeler öncesi alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Kurutma sırasında ağırlık değişiminin gözlenebilmesine imkân vermesi için kurutma tepsisi Precica marka, XB3200C model hassas terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma sırasında bu ağırlık değişimini kaydedebilmek için Balint (Precisa Instruments AG) bilgisayar programı kullanılmıştır. Denemede kullanılan kızılötesi kurutma fırını ve terazinin çalışma konumundaki durumu ile elektronik bileşenleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araştırmada kullanılan IR kurutma düzeneği, ampul ve elektronik kontrol elemanları

Denemelerde kullanılacak toprak örneklemeleri farklı nem içeriklerine sahip olması için toprak örneklemeleri farklı zamanlarda ve farklı doğa olaylarının ardından gerçekleştirilmiştir. Örnekler muhafazalı poşetlerde zaman kaybetmeden laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvar ortamına getirilen toprakların bünyesindeki bitki artıkları, taşlar örnekten temizlenmiş ve toprak nem analizine



hazır hale getirilmiştir. Araştırmada şahit (kontrol) nem belirleme tekniği olan gravimetrik yöntem referans alınmıştır. Nem içermeyen darası alınmış alüminyum kaplara ortalama ağırlığı minimum 110 g olan toprak örnekleri yerleştirilmiştir. Hassas terazi yardımı ile yaş ağırlıkları kaydedilmiştir. Ağırlıkları alınan toprak örnekleri etüv (kurutma fırını)'e yerleştirilmiştir. Örneklerin etüve koyulduğu saati not ederek, etüvü 105°C'ye getirerek çalıştırılmıştır. Örnekleri çıkarmak için 24 saat beklendikten sonra etüv kapatılarak toprak örneklerinin fırın kuru ağırlıkları not edilmiş ve ağırlık cinsinden nem Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$\mathcal{O}a = \frac{Mt - M}{Mk} \times 100 \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Burada; $\mathcal{O}a$: Kuru ağırlık cinsinden toprak nem düzeyi (%), M_t : Örnek toprağın yaş ağırlığı (g), M_k ise örnek toprağın fırın kuru ağırlığı (g)'dir.

Gravimetrik nem tayinine alternatif olabileceği araştırılan kızılötesi kurutma tekniğinde, farklı ışınım yoğunluklarının etkilerini görmek amacıyla denemelerde kızılötesi radyasyon yoğunlukları 2358W/m², 3165W/m² ve 4187W/m² olacak şekilde (350, 500, 700 Watt) üç farklı kademede kullanılmıştır. Kurutma tepsisinin darası alındıktan sonra etüvde kullanılan toprak örneklerinden minimum 250g hazırlanarak Şekil 1'de gösterildiği gibi kurutma tepsisinin üzerine örnekler serilmiştir. Örnek kurutma tepsisine serildikten sonra "Balint" bilgisayar yazılımı ile bilgisayarın RS-232 portu aracılığı ile haberleşme sağlanmış ve yazılım terazinin her iki dakikada bir veri kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. İnfrared fırına enerji veren voltaj kaynağından istenilen kızılötesi radyasyon yoğunluğu potansiyometre bağlı olan panodan ayarlanabilmektedir. Hava hızı tüm denemelerde 1 m/s sabit olarak ayarlanmıştır. Her deneme başında bilgisayara komut verilerek, verilerin bilgisayar ortamında (Ms Excel) otomatik olarak kaydedilmesi sağlanmıştır. Ağırlık değişimi 0,03g'da (Müftüoğlu ve ark, 2014) sabitlenene kadar kızılötesi fırında kurutma işlemi sürmüştür. Ağırlık değişimi sabitlenip durduğu anda ölçüm tamamlanmış ve veriler kayıt altına alınmıştır. Her bir nem seviyesi ve radyasyon yoğunluğu altında tüm denemeler üçer tekrarlı olarak yapılmıştır.

Bilgisayar ortamına alınan veriler, ele alınan her bir nem ve güç seviyesi için gruplandırılarak, IR nem belirleme metodunun referans (kontrol) olan etüv kullanılan yöntemden farklılık ya da farklılıkların ortaya konulması amacıyla varyans analizine tabi tutulmuştur. Ayrıca, nem seviyeleri altında referans (gravimetrik) ve alternatif IR yönteminde kullanılan her bir güç kademesi arasındaki farklılıkların ortaya konması amacıyla, çoklu grup karşılaştırma testleri (Tukey testi) gerçekleştirilmiştir.

Araştırma kapsamında ele alınan IR güç değerlerinden en uygun olanının belirlenmesinde, farklı denemelerdeki elde edilen verilerin karşılaştırılabilmesi amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden biri olan ortalama yüzde mutlak hata (MAPE) değerleri hesaplanmıştır (Çay ve ark., 2017). MAPE değerleri kullanılarak transformasyona tabi tutularak hata değerleri ile yapılan varyans analizi ve çoklu karşılaştırma testleri sonucunda hataların farklılıkları incelenmiş ve en uygun güç değeri saptanmıştır. MAPE eşitliği aşağıda verilmiştir.

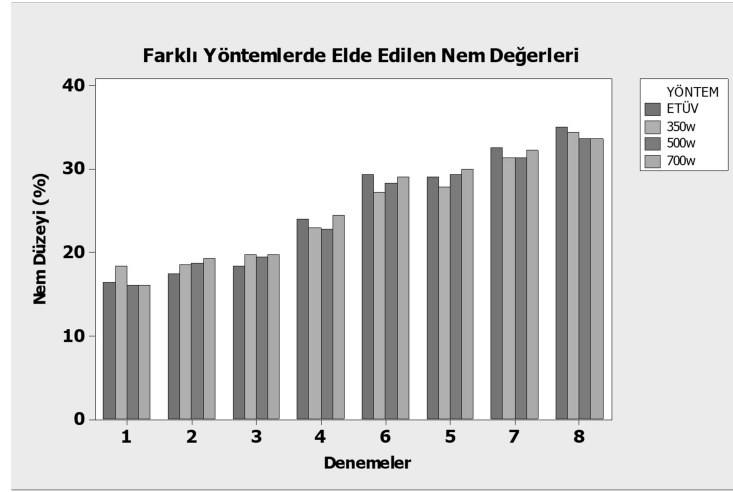
$$\text{MAPE} = (100/n) \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{\text{OSI} - \text{RSI}}{\text{RSI}} \right| \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Burada, MAPE: yüzde mutlak hata, n:deneme sayısı OSI = İnfrared nem değeri, RSI= Etüv nem değerini ifade etmektedir. Veri analizlerinde Minitab 17 istatistiksel analiz programı (StatSoft, Inc. Tulsa OK, USA) kullanılmıştır. Veriler arasındaki farklılıkları bulurken de tek yönlü varyans analizi (ANOVA), grup karşılaştırma testi olarak ise Tukeys' metodu uygulanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

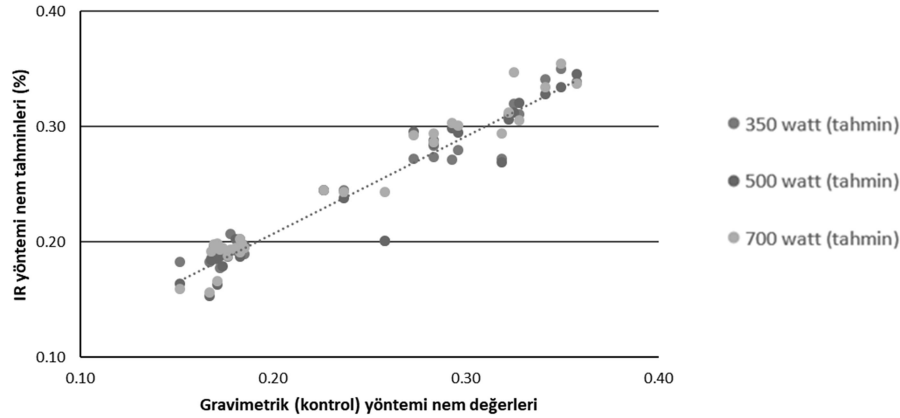
Araştırmada uygulanan referans yöntem (Etüv) ile bu yöntem alternatif olabilecek kızılötesi yöntemlerin varyans analizi testi sonucunda yöntemler ile denemeler arası interaksiyon $P > 0,05$ seviyede önemsiz bulunmuştur ($F = 1,69$). Bu sonuç, yöntemler ile denemeler arasında bir farklılık olmadığını göstermiştir. Bu sonuç ışığında, kızılötesi kurutma tekniğinin referans yöntem yerine kullanılabilir olduğu görülmektedir. Yöntemlerin kendi arasında, varyans analizi sonucunda tüm güç seviyelerinde de istatistiksel açıdan önemsiz olduğu bulunmuştur ($F = 1,80$). Bu sonuç kızılötesi kurutma tekniğinin tüm enerji yoğunluğu seviyelerinde de etüvün kullanıldığı klasik yöntem ile aralarında bir farklılık olmadığını ve istediğimiz yöntemin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Araştırmada elde edilen verilerin nem değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Uygulanan üç güç seviyesi (2358 W m^{-2} , 3165 W m^{-2} , 4187 W m^{-2}) ve nem düzeylerinin IR ve Etüv değerlerinin ortalaması verilmiştir. Her nem seviyesi kendi içindeki yöntemler ile incelendiğinde yöntemlerin birbirine yakın olduğu ve çok az sapmalar olduğu gözlemlenmiştir.



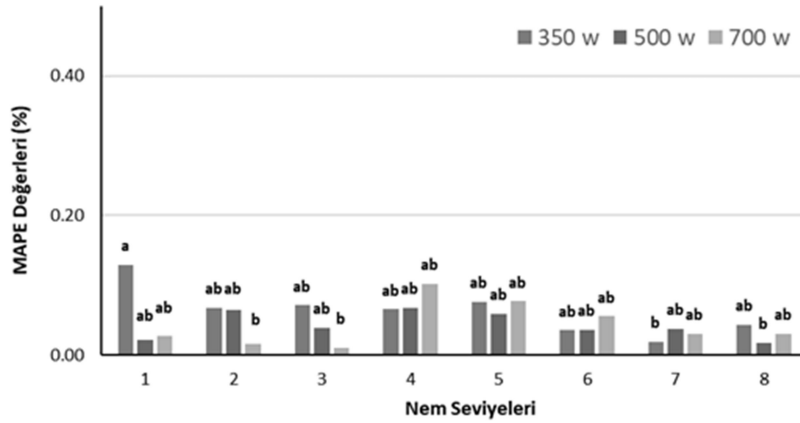
Şekil 2. Farklı nem düzeylerine ait etüv ve IR enerji yoğunluklarındaki toprak nemi değerleri

Uygulanan güç seviyeleri bazında gravimetrik yöntem ile korelasyonları incelendiğinde ise (Şekil 3). 2358 W m^{-2} enerji yoğunluğunda kızılötesi ve etüv yöntemleri arasında ki korelasyon (r) değeri 0.966 gibi yüksek bir değerde olmuştur. Bu değer +1 değerine yakın olması etüv ve kızılötesi tekniğinin arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. 3165 W m^{-2} IR yoğunluğu ile etüv arasında ki dağılım incelendiğinde ise, korelasyon değeri (r) 0.964 olarak saptanmıştır. 4187 W m^{-2} IR yoğunluğundaki korelasyon (r) değeri ise 0.976 olarak saptanmıştır. Tüm IR yoğunluğu ve geleneksel yöntem nem değerleri bir arada değerlendirildiğinde ise korelasyon (r) değeri 0.979 olarak belirlenmiştir. Değerlendirilen kümülatif kolerasyonun yüksekliği ele alınan güç seviyelerinin tamamında başarılı bir tahminleme yapılabildiğini göstermektedir.



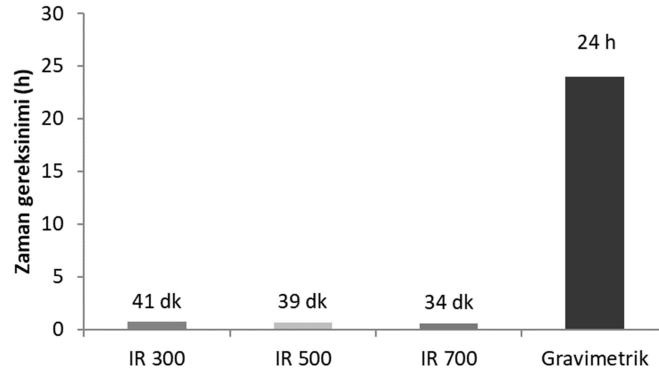
Şekil 3. Kontrol yöntemi ve farklı güç değerlerine ait kümülatif korelasyon grafiği

Yüksek korelasyon oranı yöntem geliştirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu tip çalışmalarda bir diğer önemli kontrol parametresi ise yüzde mutlak hata (MAPE) değerleridir. Farklı güç seviyelerine ait MAPE değerleri Şekil 4’te gösterilmiştir. MAPE değerleri incelendiğinde, yüzde mutlak hataların tüm güç değerleri için oldukça düşük olduğu görülmektedir. İstatistiksel olarak sadece 2358 W m^{-2} enerji yoğunluğunda (350 W), ilk denemenin varyasyonu diğerlerine göre sayısal olarak yüksek bulunmuştur. Ancak nem seviyeleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık gözlenmemiştir. Genel olarak MAPE değerlerinin önemsiz olduğu ve kızılötesi yönteminin geleneksel nem tayin yöntemini oldukça düşük ve önemsiz hatalar ile tahminleyebildiği belirlenmiştir.



Şekil 4. Farklı güç yoğunluğu seviyelerinde MAPE değerlerinin değişimi

Örneklere uygulanan 2358 W m^{-2} , 3165 W m^{-2} , 4187 W m^{-2} IR yoğunlukları bu işlemde süreye etki etmişler ve uygulanan güç arttıkça örnek bünyesindeki nem daha hızlı atılmış, bir başka söylem şekliyle kuruma süreleri kısalmıştır. Bu süreler nem değerlerine bağlı olarak değişmiştir. Bu süre en az 23,3 dakikaya kadar çekilebilmiştir. Sürelerin ortalamalarına bakıldığında da en az 34 dakika, en fazla ise 41,81 dakika olmaktadır. Gravimetrik yöntemde ise bu kurutma işlemleri gerçekleştirildiğinde aynı nem değerleri için ortalama 24 saatlik bir zaman dilimini beklemek gerekmektedir (Blake and Heritage, 1986). Kızılötesi kurutma tekniği ile zaman daha efektif bir şekilde kullanılmıştır.



Şekil 5. Yöntemler ve güç yoğunlukları bazında zaman tüketimleri

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak kızılötesi teknoloji, ele alınan her güç yoğunluğu için yüksek korelasyon ve düşük hatalardan dolayı, gravimetrik yöntemden oldukça başarılı bir alternatif olarak görülmektedir. Toprak nem tahmininde başarı ile kullanılabilir olan IR, referans yöntemin (Etüv) dezavantajı olan 24 saat gibi uzun bir süre sonuç beklemek yerine ortalama 38 dakika gibi bir sürede nem tayinini ağırlık tabanlı tamamlamaya olanak sağlamıştır. Ayrıca tartım sırasında oluşabilecek insan hatalarını da ortadan kaldırarak hassas terazide elle tartım yapmadan otomatik nem tayini yapabilmektedir. İleriki çalışmaların güç tüketimi ile birlikte, farklı bünyedeki topraklar için de yapılması gereklidir.

Not:Bu çalışmanın bazı verileri 13th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & International Workshop on Precision Agriculture kongresinde sunulmuştur.

Kaynaklar

Aydın, M., Kılıç, Ş., 2010. Toprak bilimi. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Yayın No.:740. Ankara.

Blake G.R., Heritage K.H. 1986. Methods soil analyses Part 1-Physical Mineral Methods: 363–375. Erişim linki :doi:10.2136/sssabookser5.1.2ed.frontmatter.



- Çay, A., Kocabıyık, H., Karaaslan, B., May, S., Khurelbaatar, M., 2017. Development of an opto-electronic measurement system for planter laboratory Tests. *Measurement*, 102: 90–95.
- Fasina, O., 2003. Infraredheating of food and agricultural materials. ASAE Paper No: 036219 St Joseph, Mich.
- Hebbar, H.U., Viswanathan, K.H., Ramesh, M.N., 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65: 557–563.
- Kocabıyık, H., Sümer, S.K., Tuncel, N.B., Büyükcan, M.B., Yılmaz, N., 2012. İnfrared kurutma yönteminin domates kurutmada kullanılması ve kurutulmuş domatesin bazı kalite özellikleri ve özgül enerji tüketimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. TÜBİTAK Projesi. No:109O578.
- Munsuz, N. 1982. Toprak-Su İlişkileri. Ank. Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 798, Ankara.
- Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., Çıkılı, Y., 2014. Toprak ve bitkide verimlilik analizleri. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık TİC. LTD. ŞTİ. Yayın No.:994. Gıda, Tarım ve Hayvancılık No:009.
- Özcan, H., Ekinci, H., Kavdır, Y., Yüksel, O., Kaptan, H., 2004. Dardanos yerleşkesi toprakları, vol. 39. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yayınları, Çanakkale.
- Ozpinar, S., Cay, A., 2006. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. *Soil Tillage Research*, 88: 95–106.
- Papp, Z., Dezso, Z., Daroczy, S., 2002. Significant radioactive contamination of soil around a coal-fired thermal power plant. *J. Environ. Radioact.* 59: 191–205.
- Sakai, N., Mao, W., 2006. InfraredHeating. In *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues*, Editedby D.W. Sun, Boca Raton, 493-527 pp.
- Skjöldebrand, C., 2001. Infrared heating inthermal technologies in food processing, Edited by R. Richardson, Boca Raton, , 208-227pp. Florida, USA.
- Uytun, A., Pekey, B., Kalemci, M., 2013. Toprak nemi ölçümleri. VIII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, Gebze-Kocaeli. Yeşilsoy, M. Ş., Aydın, M., 1991. Toprak Fiziği. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı No:124, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset ve Teksir Atölyesi, 228 s. Adana.