

**TANE MISIRIN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE
FARKLI TİP TAHİL NEM ÖLÇÜM CİHAZLARININ
PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

YELİZ ACUN

ŞUBAT 2024

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TANE MISIRIN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE
FARKLI TİP TAHİL NEM ÖLÇÜM CİHAZLARININ
PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**



YELİZ ACUN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM
DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ŞUBAT 2024

DIYARBAKIR

**TANE MISIRIN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE FARKLI TİP
TAHİL NEM ÖLÇÜM CİHAZLARININ PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yeliz ACUN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

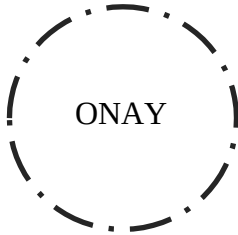
Prof. Dr. Songül GÜRSOY
Danışman, **Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Ahmet ÇELİK(*)
Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Songül GÜRSOY(**)
Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi M.Murat TURGUT
Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 14 / 02 / 2024

(*) Jüri Başkanı.
(**) Tez Danışmanı.



Anneme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Yeliz ACUN

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Songül GÜRSOY'a çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), tez çalışmam için sağladıkları finansal destek için (Proje No: DÜBAP- FBE.23.003) için teşekkürü bir borç bilirim.

En önemlisi, beni araştırma hevesiyle coşturdukları ve kendime bazen inanmasam da bana inandıkları için anneme, babama ve ablama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1 Materyal.....	17
3.1.1 Çalışmada kullanılan mısır çeşitleri ve çeşit adaylarının özellikleri.....	17
3.1.2 Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar	17
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Denemelerin düzenlenmesi	20
3.2.2 Denemeler için mısır örneklerinin hazırlanması	20
3.2.3 Fırın kurutma yöntemine göre mısır örneklerinin nem içeriğinin belirlenmesi	21
3.2.4 Çalışmada kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyetlerinin belirlenmesi.....	21
3.2.5 Mısır örneklerinin tanelerinin boyut özelliklerinin belirlenmesi.....	22
3.2.6 Mısır örneklerinin tanelerinin ağırlıklarının belirlenmesi	22
3.2.7 Mısır örneklerinin hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	22
3.2.8 Çalışmada kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyetlerinin belirlenmesi.....	23
3.2.9 Çalışmada kullanılan cihazların hata oranı.....	23

3.2.10 Verilerin analizi	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1 Mısırın nem içeriğinin cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi.....	25
4.2 Mısır tane sıcaklığının cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi.....	31
4.3 Mısır çeşidlerinin PM 450 tahıl nem ölçüm cihazının sonuçlarına etkisi ...	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35
5.1 Sonuçlar.....	35
5.2 Öneriler.....	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Tahılların nem içeriğinin ölçülmesinde kullanılan yöntemler	2
Şekil 3.1 PM 450 dökmeli tahıl nem ölçüm cihazı	17
Şekil 3.2 Wile 55 sıkmalı tahıl nem ölçüm cihazı.....	18
Şekil 3.3 Pfeuffer HE Lite kırmalı tahıl nem ölçüm cihazı.....	18
Şekil 3.4 Elektronik Hassas Terazı	18
Şekil 3.5 Tane Şekil ve Boyutlarının Ölçümünde Kullanılan Kumpas	19
Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan etüv	19
Şekil 3.7 Çalışmada kullanılan termometre	19
Şekil 4.1 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CD, cihaz doğruluğu; Mfırın, örneğin fırın kurutma.....	27
Şekil 4.2 WİLE55 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CD, cihaz doğruluğu; Mfırın, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği.....	28
Şekil 4.3 PFEUFFER HE LİTE tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CD, cihaz doğruluğu; Mfırın, örneğin fırın kurutma yöntemiyle.....	28
Şekil 4.4 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CHO, cihaz hata oranı; Mfırın, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği.....	30
Şekil 4.5 Wile-55 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CHO, cihaz hata oranı; Mfırın, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği.....	30
Şekil 4.6 Pfeuffer HE Lite tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, CHO, cihaz hata oranı; Mfırın, örneğin fırın kurutma yöntemiyle.....	31
Şekil 4.7 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın sıcaklığına göre değişimi, CD, cihaz Doğruluğu.....	32
Şekil 4.8 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın sıcaklığına göre değişimi, CHO, cihaz hata oranı	32
Şekil 4.9 Farklı mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğuna etkisi, CD, cihaz doğruluğu.....	33

Şekil 4.10 Farklı mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranına etkisi,CHO,cihaz hata oranı35



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Türkiye piyasasında mevcut bazı tahıl nem ölçüm cihazları ile bazı özellikleri.....	6
Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan çeşit ve çeşit adayları özellikleri	16
Tablo 4.1 Tahıl nem ölçüm cihazlarının tane mısırın farklı nem içeriği aralıklarındaki ortalama ölçüm değerleri ve standart sapmaları.....	23
Tablo 4.2 Tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluklarına yönünden elde edilen verilere ilişkin varyans analiz sonuçları, (SD:, serbestlik derecesi, P: Önem düzeyi)	23
Tablo 4.3 Tahıl nem ölçüm cihazlarının hata oranlarına ilişkin varyans analiz sonuçları, (SD:, serbestlik derecesi, P: Önem düzeyi).....	27

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
W	Ağırlık
M	Nem İçeriği
M _{cihaz}	Cihaz Ölçüm Sonucu
M _{fırın}	Fırın Nem İçeriği
CD	Cihaz Doğruluğu
CHO	Cihaz Hata Oranı

Kısaltma	Açıklama
FAO	Food and Agriculture Organization
ISO	International Organization for Standardization
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
ASAE	American Society of Association Executives
OIML	International Organization of Legal Metrology
NIR	Near-Infrared

ÖZET

TANE MISIRIN NEM İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE FARKLI TİP TAHİL NEM ÖLÇÜM CİHAZLARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ACUN, Yeliz

Yüksek Lisans, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Songül GÜRSOY

Şubat 2024, 57 sayfa

Tahılların hasat, hasat sonrası işleme, depolama ve pazarlama aşamalarında önemli fiyat ve kalite parametrelerinden biri olarak dikkate alınan tane nem içeriklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi tarımsal üretimde oldukça önemli konular arasında yer almaktadır. Günümüzde tahılların nem içeriğini belirlemede elde taşınabilen portatif farklı tip nem ölçüm cihazlarının piyasada yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bu cihazların doğruluk ve hassasiyetlerinin belirlenmesi ve bu değişkenler üzerindeki etkili faktörlerin araştırılması, cihazların kalibrasyonu ve ölçüm performanslarının artırılmasına önemli oranda katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, Türkiye piyasasında yaygın olarak kullanılan bazı tahıl nem ölçüm cihazlarının, farklı nem ölçüm aralıklarındaki doğruluk ve hassaslık dereceleri test edilmiştir. Ayrıca, bu cihazların ölçüm doğruluk ve hassasiyetlerine etki eden parametreler irdelenmiştir. Bu amaçla, üç farklı ticari nem ölçüm cihazı (PM-450 dökmeli, Wile 55 Sıkmalı, Pfeuffer HE Lite Kırmalı) altı farklı nem içeriğine sahip (%11-12, %16-17, %20-21, %24-25, %28-29 ve %30-31 y.a.) tane mısırın nem içeriğini belirlemede kullanılmıştır. Bu ölçüm cihazlarından elde edilen verilerin doğruluk dereceleri ve hata oranları, referans fırın yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Ayrıca, ürün sıcaklığı ve çeşitlerin cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Mısır çeşidinin nem ölçüm cihazı sonuçlarına etkisini belirlemek amacıyla, nem içeriği %12-13 (y.a) olan yedi farklı mısır çeşidinin PM-450 cihazının ölçüm sonuçları ile referans fırın kurutma yöntemi karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde, %16 oranında nem içeriğine sahip mısır taneleri, dört farklı sıcaklığa (17-18 °C, 20-21 °C, 25-26 °C, 32-33 °C) getirilerek elde edilen örneklerin PM-450 cihazı ölçüm sonuçları, referans fırın yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, tane mısırın nem içeriği, sıcaklık ve çeşit özelliklerinin nem ölçüm aletlerinin doğruluk ve hassasiyetlerinin üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, tahılların nem içeriğini belirlemede kullanılan bu cihazların ürün özelliklerine göre doğru ve hassas ölçüm yapabilecek şekilde kalibre edilmelerinin oldukça önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, Tahıl Nem Ölçer, Kapasitans, Doğruluk, Hassasiyet

ABSTRACT

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF DIFFERENT TYPES OF GRAIN MOISTURE MEASUREMENT DEVICES IN DETERMINING MOISTURE CONTENT OF GRAIN CORN

ACUN, Yeliz

Master of Science in Department of Agricultural Machinery and Technologies
Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Songül GÜRSOY

February 2024, 57 pages

Accurate and fast determination of grain moisture content, which is considered as one of the important cost and quality parameters in the harvesting, post-harvest processing, storage and marketing stages of grains, is among the very important issues in agricultural production. Nowadays, different types of hand-held portable moisture measuring devices are widely used in the market to determine the moisture content of grains. Determining the accuracy and sensitivity of these devices and investigating the factors affecting these variables will significantly contribute to the calibration and performance of the devices. In this study, the accuracy and sensitivity levels of some grain moisture measuring devices commonly used in the Turkish market at different moisture measurement ranges were tested. Additionally, the parameters affecting the measurement accuracy and sensitivity of these devices were examined. For this purpose, three different commercial moisture measuring devices (KETT PM-450 Pouring, Wile 55 Squeeze, Pfeuffer HE Lite grinding) were used to determine the moisture content of corn kernels in six different moisture ranges ((%11-12, %16-17, %20-21, %24-25, %28-29 and %30-31 w.b.). The accuracy and error rates of the data obtained from these measuring devices were tested using the reference oven method. Additionally, the effect of product temperature and types on the measurement results of the devices was investigated. In order to determine the effect of corn variety on the moisture measurement device results, the measurement results of the PM-450 device of seven different corn varieties with moisture content of 12-13% were compared with the reference oven drying method. Likewise, PM-450 measurement results of samples obtained by bringing corn grains with 16% moisture content to four different temperatures (17-18 °C, 20-21 °C, 25-26 °C, 32-33 °C) was compared with the results obtained with the reference oven method. As a result of the study, it was seen that the moisture content, temperature and variety characteristics of corn kernels had a significant effect on the accuracy and sensitivity of moisture measuring instruments. Therefore, it has been observed that it is very important to calibrate these devices that used to determine the moisture content of grains to make accurate and precise measurements according to product characteristics.

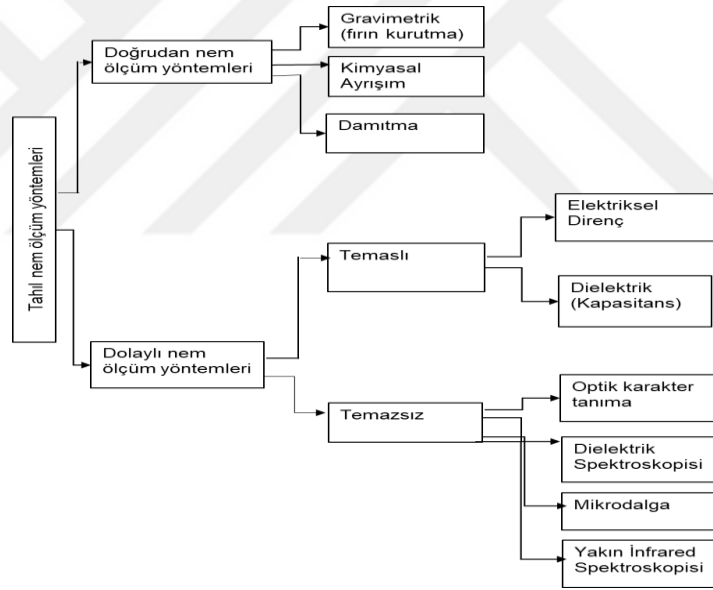
Keywords: Maize, Grain Moisture Meter, Capacitance, Accuracy, Sensitivity

1. GİRİŞ

Ilıman ve tropik bölgelerde yetiştirilen bir sıcak iklim bitkisi olan mısır (*Zea mays* L.) gerek dünyada ve gerekse Türkiye’de yaygın bir şekilde üretimi gerçekleştirilen tarımsal ürünler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Hem gıda hem de yem sanayi sektöründe önemli bir yere sahip olan mısır bitkisinin insan ve hayvan beslenmesindeki değerinin büyük olması yanı sıra sanayide alkol, ispiroto, yağ, irmik, tutkal, biyoetanol, nişasta bazlı şeker gibi ürünlerin üretiminde hammadde olarak da kullanılması yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Şahin 2001, Babaoğlu 2005). FAO (Uluslararası Gıda ve Tarım örgütü) 2021 verilerine göre; dünyada 197 Mha’lık bir alanda 1.137 Mt mısır üretiminin gerçekleştirildiği bildirilmektedir (FAOStat, 2021). Türkiye’de ise 2020 yılında 639 bin ha alanda 6 milyon ton olarak gerçekleşen tane mısır üretiminin önemi her geçen yıl giderek arttığı gözlemlenmektedir (TÜİK, 2020). Mısır üretimindeki bu artış, hasat ve hasat sonrası kayıpların azaltılmasında gerekli önlemlerin alınmasının önemini de ortaya çıkarmıştır. Mısır üretiminde hasat, hasat sonrası uygulanan işlemler, depolama ve pazarlama gibi üretim aşamalarında önemli kalite ve fiyat göstergesi olarak göz önünde bulundurulmuş nem içeriğinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi hem üretici hem de alıcı açısından oldukça önemli bir husustur (Jones Vd.2022). Mısır bitkisinin biçerdöver ile hasadında tavsiye edilen %20-26’lık tane nem içeriğinin uzun süreli güvenli depolama için %13- %14’e kadar düşürülmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, hasat sonrasında yüksek nem oranına sahip mısırın bozulmadan ve küflenmeden uzun süre saklanabilmesi için uygun nem sınırlarına kadar kurutulması gerekmektedir. Fakat yüksek nem oranlarında yapılan hasat işleminde elde edilen ürünün depolama öncesi belirli bir nem oranına kadar kurutulması ek bir maliyet olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, yüksek nem içeriğine sahip tahılların kuru madde miktarının az olması ticari değer oranının düşmesine neden olmaktadır (Nelson,2001). Özellikle alım – satım sürecinde mısırın nem içeriği göz önünde bulundurularak fiyatlandırma yapılmaktadır. Mısırın nem içeriğinin artmasıyla fiyatında düşüş meydana gelmektedir. Depolamada, mısırın küf ve zararlı böceklerden etkilenmeden güvenli bir şekilde ne kadar süre zarar görmeden depolana bileceğini belirlemede nem içeriğinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı mısırın hasat ve hasat sonrası uygulanacak işlemler öncesi nem

içeriğinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi oldukça önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüze kadar tarımsal ürünlerin nem içeriğinin belirlenmesinde birçok farklı yöntemin geliştirilmiş olduğu görülmektedir. Bu yöntemler genel olarak, doğrudan ve dolaylı yöntemler olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 1.1’de de gösterildiği gibi gravimetrik (fırın), kimyasal ayrışım ve damıtma yöntemleri doğrudan nem ölçüm yöntemleri olarak kategorize edilirken; elektriksel direnç, kapasitans, optik karakter tanıma, dielektrik spektroskopisi, mikrodalga, bağıl nem ve yakın infrared spektroskopisi ölçüm yöntemleri tahılların nem içeriğinin ölçümünde yaygın olarak kullanılan dolaylı nem ölçüm yöntemleri olarak ifade edilmektedir (Tomaraei vd. 2010; Shi vd. 2015, Obi vd. 2016, Armstrong vd. 2017, Zambrano vd. 2019, Hanli 2020, Gao vd. 2021).



Şekil 1.1 Tahılların nem içeriğinin ölçülmesinde kullanılan yöntemler

Ürün içerisindeki suyun buharlaştırılarak veya kimyasal etkileşimle uzaklaştırma yöntemine dayanan doğrudan ölçüm yöntemleri arasında en yaygın kullanılan fırın (kurutma) yönteminde tahılın nem içeriği, örnekteki su miktarının tanımlanmış bir süre boyunca sabit bir sıcaklıkta buharlaştırılması sonucu meydana gelen ağırlık kaybı ilkesine göre belirlenmektedir (Tomaraei 2010, Obi vd. 2016, Zambrano vd. 2019, Hanli, 2020). Gravimetrik nem ölçüm yöntemi olarak da ifade edilen fırın kurutma yöntemi genellikle diğer dolaylı nem ölçüm yöntemlerinin kalibrasyonunda

referans nem ölçüm yöntemi olarak kullanılmaktadır. Uluslararası Standart Örgütü (ISO) çeşitli ürünlerin nem içeriğini belirlemede uygulanan işlemleri standartlaştırmak amacıyla çeşitli standartları geliştirmiştir (Anonim,2001). Geliştirilen bu standartlar arasında ASAE S352 standardında belirtilen kurutma sıcaklığı ve sürelerinin, Karl Fischer nem belirleme yöntemiyle en iyi uyumu sağlayacak şekilde seçilmiş olduğu ifade edilmektedir (Ahmed et al. 2015). Standart fırın kurutma yönteminin oldukça hassas olmasına rağmen fazla zaman alması, zahmetli olması, son ürünün tekrar kullanılamaması ve ürün neminin izlenmesine olanak vermemesi gibi birçok dezavantajlı yönleri bulunmaktadır (Tomaraei 2010, Obi vd. 2016, Zambrano vd. 2019, Hanlı 2020). Bu nedenle, ürünün nem içeriğini hızlı ve kolay bir şekilde ölçebilen ve ürün neminin izlenmesine olanak sağlayan birçok dolaylı nem ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Dolaylı nem ölçüm yöntemlerinde, üründeki nem miktarına bağlı olarak ürünün belli fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerindeki değişimler esas alınmaktadır. Dielektrik spektroskopi, mikrodalga, bağıl nem ve yakın infrared spektroskopi ölçüm yöntemlerinde, tahıl örneğinin öğütülmesiyle elde edilen undaki suyun buharlaştırılmasıyla meydana gelen fizikokimyasal özelliklerdeki değişimlerin analiziyle ürünün nem içeriği tahmin edilmektedir (Pathaveerat ve Pruengam 2020). Diğer dolaylı nem ölçüm yöntemlerinde ise, ürünün nem içeriğinin değişimiyle optik, elektrik veya dielektrik gibi fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler ölçülerek oluşturulan kalibrasyon eşitlikleri yardımıyla ürünlerin nem içeriği tahmin edilmektedir (Soltani ve Alimardani 2011, Zhang vd. 2013, Singh vd. 2017). Bu kalibrasyon eşitlikleri, ürünlerin çeşit ve yetiştirme koşulları tarafından etkilenen tane boyutu, 1000 tane ağırlığı, hacim ağırlığı gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

Direnç ve kapasitans prensibine dayalı ölçüm yapan yöntemler tahılların nem içeriğini belirlemede yaygın bir şekilde kullanılan dolaylı yöntemler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Direnç bazlı nem ölçerler, tahılın nem içeriğinin tahmin edilmesinde elektriksel direncini kullanırken, kapasitans bazlı nem ölçerler, nemin dielektrik sabitini kullanarak nem seviyesini belirlemektedir. Elektrik direnci prensibine dayalı olarak tahılın nem içeriğinin belirlenmesine yönelik çalışmalar 20. yüzyılın başlarında başlamış ve çalışmalar sonucunda tahılın elektrik direncinin nem içeriğiyle ilişkili olduğu görülmüştür (Nelson, 1991). Birkaç yıl sonra ise, yapılan

çalışmalar sonucunda frekanstaki değişimle dielektrik özellikleri ölçmek için kapasitans bazlı bir ölçüm yöntemi önerilmiştir (Nelson, 2006). Çalışmalarda direnç tipi ölçüm yönteminde, saf sudaki iyonların elektrik akımını iletmemesinden dolayı, ölçüm sonuçlarının kapasitans tipi ölçüm yöntemine göre doğruluk ve hassaslık seviyesinin daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, direnç tipi nem ölçüm cihazlarında elektriksel bir akıma göre tahılın elektriksel direnci ölçülerek nem içeriği tahmin edilmektedir. Nem içeriği ölçülecek olan tahıl örneği sıkıştırma hücresindeki iki elektrodun arasına yerleştirilerek ölçüm yapılmaktadır. Doğru ölçüm sonucuna ulaşmak için sıkıştırma hücresindeki tahılın, bilinen sabit bir değer esas alınarak sıkıştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, sıkıştırma işleminin düzgün yapılmaması ölçüm sonucunu etkileyecektir. Aynı şekilde, sıcaklık değişimi tahılın direnç değerini değiştirdiğinden ölçüm sonucunun da gerçek değerden farklı olmasına neden olacaktır (İşiker 2007, Tinna vd. 2021). Kapasitif nem ölçerlerin çalışma prensibi, tahılın nem içeriği dielektrik sabitinin değişmesine göre tahmin edilmektedir. Nem içeriğindeki değişiklik tahılın dielektrik sabitini etkileyerek, kapasitansda değişime neden olmaktadır. Bu kapasitans değişimi elektronik devreler yardımıyla gerilime dönüştürülerek tanelerin nem içeriği hesaplanmaktadır. En temel biçiminde, bir kapasitör, dielektrik adı verilen bir yalıtkanla ayrılmış, karşılıklı olarak yüklenmiş iki iletken plakadan oluşmaktadır. Plakaların kapasite değerini ölçmek için literatürde farklı yöntemler ve okuma devreleri mevcuttur. Okuma devreleri kapasitans değişimlerini akıma, gerilime, faza, yüke veya frekansa dönüştürür. Kapasitans değişimlerini elde etmek için kullanılan ara yüz tasarımlarının avantaj ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır (Nelson ve Trabelsi 2002, İşiker 2007, Altuntas ve Yıldız 2007). Kapasitif nem ölçüm cihazlarıyla ölçüm esnasında genellikle, ölçülecek tahıl yüksek bir frekans akımı tarafından tetiklenen kondansatör plakalarından düzenlenmiş kapalı bir kaba doldurulur. Doldurma işlemine yavaşça istenen ağırlık değerine kadar devam edilir. Sağlıklı ölçüm değerleri elde edebilmek için ölçüm cihazının ağırlık ölçüm düzeneğinin düzgün bir şekilde kalibre edilmiş olması ve 25 °C'den farklı sıcaklık değerindeki tahıl örneği için sıcaklık farkından kaynaklanan düzeltmelerin yapılması gerekmektedir. Kapasitans ölçüm cihazı genel olarak direnç ölçüm cihazlarına göre daha doğru ve daha geniş nem içeriğine sahip olan tahılların nem içeriğini ölçebilmektedir (İşiker, 2007).

Literatürde kapasitif nem ölçüm cihazıyla tahıl nem içeriği ölçümlerini etkileyen temel faktörlerden bazıları, nem içeriği, elektromanyetik ölçüm frekansı, nemin enerjisi (yani bağlı veya serbest nem), örneğin kütlesi veya ağırlığı, hacim ağırlığı veya gözeneklilik, sıcaklık, kimyasal bileşim, tane şekli ve pH olarak ifade edilmiştir (Nelson 1981, Sokhansanj ve Nelson 1988, Kaatze 1996, Wraith ve Or 1999, Kraszewski ve Nelson 2004, Nelson 2006, Trabelsi ve Nelson 2006, Nelson ve Trabelsi 2017). Ayrıca, ürün çeşidi ve ürünün yetiştirildiği bölgedeki agronomik koşulların ürünün fiziksel özelliklerini etkilemesi gibi faktörlerinin yanı sıra tahılın doldurulması esnasında oluşan statik yükler, tozlar, elektromanyetik parazitler gibi hataların da nem ölçümünde etkili olduğu literatürde belirtilmektedir (Hanlı, 2020). Tahılın nem içeriği, iletkenlik ve dielektrik özellikler üzerinde önemli etkiye sahiptir. Nem içeriğinin artmasının kapasitif ölçüm doğruluğunu azaltabileceği ifade edilmektedir. Aynı şekilde, tane içindeki nemin dağılımındaki homojenlik okunan nem değerlerinin doğruluğu üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır (Çelik ve Parlak, 2022). Tahılların hacim ağırlığı, kapasitif ölçümleri etkileyen en önemli faktördür. Tahılların dielektrik özelliklerinin normal yoğunluk aralıklarında hacim ağırlığıyla doğrusal olarak ilişkili olması, kapasitif yönteminde ölçüm hassasiyeti ve doğruluğunda önemli şekilde etkili olmaktadır. Tanelerin şekli, boyutu ve kabı doldurma özellikleri örneğin hacim ağırlığı üzerinde etkili olması, kapasitif ölçüm sonuçlarını etkilemektedir (Jones vd. 2022). Sıcaklık genellikle hem su hem de etkili diğer faktörlerin sinyallerini etkilemektedir. Yürütülen birçok çalışmada mısır, soya fasulyesi ve buğday gibi taneli ürünlerin 54 kHz ila 9,4 GHz arasında değişen frekanslar arasındaki sıcaklık ve dielektrik özellikleri arasında pozitif yönde lineer bir ilişkinin olduğu görülmüştür (Lawrence vd. 1990). Bu nedenle, nem içeriğinin tahmin edilmesine yönelik geliştirilen kalibrasyon denklemlerinde, kapasitif ölçüm sonuçlarını etkileyecek nem, yoğunluk, sıcaklık, kimyasal bileşim ve yabancı maddeler gibi faktörlerin etkilerinin giderilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Günümüzde tahılların nem içeriğini belirlemede birçok kapasitif esaslı nem ölçüm cihazının piyasada mevcut olduğu bilinmektedir. Bu cihazlar tahılların nem içeriğini hızlı bir şekilde belirleyebilmesine rağmen, tutarlılık ve güvenilirliklerinin ürün özellikleri ve çevresel koşullardan önemli düzeyde etkilendiği ifade edilmektedir. Bu cihazların tutarlılık ve güvenilirlikleri genellikle hassasiyet ve doğruluk terimleriyle

açıklanmaktadır. Doğruluk, cihazın ölçüm değerinin ürünün gerçek nem içeriği değerine yakınlık derecesi olarak tanımlanırken, hassasiyet ise yapılan ölçümlerin birbirlerine olan yakınlığıdır başka bir ifadeyle bir ölçümün tekrarlanabilirliğini ifade etmektedir. Bir cihazla ölçümdeki yanılma çoğu zaman doğruluğunu temsil etmektedir; başka bir anlamda ölçülen değerler ile gerçek değer arasındaki farkların ortalamasını göstermektedir (Hurburgh vd. 1985, Tang vd. 2000).

Tane mısırın nem içeriğini belirlemede kullanılan, Türkiye piyasasında mevcut, taşınabilir bazı tahıl nem ölçüm cihazları ile bu cihazların başlıca özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu cihazların, dökme, sıkmalı ve kırmalı tipleri mevcuttur. Dökme tip olan cihazların bazıları, ölçülen numunenin nem ve sıcaklığını, bunun yanı sıra hektolitresini hızlı ve basit bir şekilde ölçme imkânı sunmaktadır. Ayrıca, bazı cihazlarda bulunan otomatik sıcaklık ve hektolitre düzeltmesi, farklı kullanım koşullarında da doğru sonuçların elde edilmesine katkı sağlar. Bu cihazların ölçüm doğrulukları ve ölçüm doğruluklarına etki eden parametreleri belirlemek, taneli ürünlerin nem içeriklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir (Anonim 2023, Anonim 2024). Literatürde farklı tür ve sınıfta çok sayıda tahıl nem ölçerin geliştirildiği ve bu nem ölçerlerin seçiminde bazı parametrelerin büyük önem taşıdığı ifade edilmektedir. Bu parametreler arasında ilk sırada nem ölçerlerin doğruluğu, güvenilirliği ve hassasiyetleri gelmektedir. Diğer parametreler, nem ölçüm aralığı, tepki süresi, kalibrasyon, çevresel koşullardan etkilenmeme, taşınabilirlik, maliyet olarak sıralanmaktadır (Rai vd. 2005, OIML 2009). Uluslararası Yasal Metroloji Örgütü (OIML)’nın 2009’da düzenlediği bir çalıştayda tahılların ve yağ bitkilerinin nem ölçümünde kullanılan sensör ve cihazların sorunları tartışılmış ve bu nem ölçerlerin kalibrasyonlarının, ekilen ürün çeşitlerinin yoğunluk, sıcaklık, kimyasal bileşim ve safiyet gibi özellikleri yanında iklim koşullarındaki mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişebileceği ifade edilmiştir (OIML, 2009).

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye piyasasında yaygın olarak kullanılan bazı tahıl nem ölçüm cihazlarının, farklı nem ölçüm aralıklarındaki doğruluk ve hassaslık derecelerini standart fırın kurutma yöntemiyle karşılaştırarak belirlemektir. Ayrıca,

bu cihazların ölçüm doğruluğu ile hassasiyetlerine etki eden parametreleri araştırmaktır.

Tablo 1.1 Türkiye piyasasında mevcut bazı tahıl nem ölçüm cihazları ile bazı özellikleri

Marka ve Model	Şekli	Fiyatı, \$	Ölçüm Yöntemi	Ölçüm aralığı, % y.a.	Doğruluk % y.a.	Hassasiyet %	Ölçtüğü Ürün Adedi
Kett PM 450		1150	Kapasitif (Dielektrik)	6-35	±0.5	1	28
Kett PM 650 Tahıl nem ve hektolitre ölçer		2800	Kapasitif (Dielektrik)	6-35	±0.5	1	28
Mını Gac Plus Tahıl nem, sıcaklık ve hektolitre ölçer		2500	Kapasitif (Dielektrik)	5-45	±0.2	2	16
Wile 200 Tahıl nem ve Hektolitre ölçer		850	Kapasitif (Dielektrik)	4-45	±0.5	1	16
Draminski GMM Mini Tahıl nem ve sıcaklık ölçer		600	Kapasitif (Dielektrik)	8-30	±0.5	1	33
Draminski GMM PRO Tahıl nem ve sıcaklık ölçer		1000	Kapasitif (Dielektrik)	9-24	±0.5	1	30
Delmhorst G-7 Tahıl nem ve sıcaklık ölçer		1250	İletkenlik (Direnc)	6-40	-	-	14
PFEUFFER HE-LITE kırmalı- Tahıl nem ölçer		950	İletkenlik (Direnc)	8-45	-	-	15
Pfeuffer HE 50 Kırmalı		1150	İletkenlik (Direnc)				
Farm Farmpro Kırmalı		850	İletkenlik (Direnc)	5-50	±0.5	1	20
Wile 78 Kırmalı		450	İletkenlik (Direnc)	4-44	±0.5	1	21
Wile 55 Sıkmalı		380	Kapasitif (Dielektrik)	8-35	±0.5	1	23
Wile 65 Sıkmalı		420	Kapasitif (Dielektrik)	8-35	±0.5	1	15
Santo TH-22			Kapasitif (Dielektrik)	8-35	±0.5	1	22
DRAMINSKI Twist Grain Pro			Kapasitif (Dielektrik)	8-35	±0.5	1	33
Smart Sensor AR991			Kapasitif (Dielektrik)	7.5-50	-	-	14

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tahılların sahip oldukları kuru madde içeriklerine göre alınıp satılmalarından dolayı, pazarlamaları esnasında nem içeriklerinin hızlı ve doğru olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle, günümüze kadar çok farklı tipte nem ölçüm yöntemi ile bu amaçla kullanılan cihazlar geliştirilmiş ve bu yöntemlerin ölçüm sonuçlarına etki eden faktörlerin araştırılmasına yönelik birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hemeda vd. (1982), farklı tip kapasitans nem ölçüm cihazlarını (Motomco 919, Dickey-john GACII, Steinlite SS-250 ve Burrows 700), nem içeriği yaklaşık olarak %18 olan üç farklı mısır çeşidinde deneyerek elde ettikleri ölçüm değerlerini, standart fırın kurutma yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, tüm ölçüm cihazlarındaki sonuçların, fırın kurutma yöntemi sonuçlarından daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Paulsen vd. (1984) altı farklı ticari nem ölçerin (Motomco 919, Dickey-john GAC-II, Burrows 700 ve Steinlite modelleri SS-250, DM ve RCT) doğruluk ve hassasiyetlikleri belirledikleri çalışmalarında, nem içeriği %11 ile %36 arasında 690 mısır örneğinin cihaz ölçüm sonuçlarını fırın kurutma yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Cihaz ile fırın kurutma ölçüm sonuçları arasındaki fark, %95 güven aralığında, düşük nem içeriğine sahip örneklerde $\pm 0,8$ ve yüksek nem içeriğine sahip örneklerde ise $\pm 3,2$ olarak tespit edilmiştir.

Hurburgh vd. (1985) Iowa'da kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının standart fırın yöntemine göre doğru bir şekilde kalibre edilmediğini, gerekli kalibrasyon düzeltmelerini belirlemek için daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğunu vurguladıkları çalışmalarında, bölgede yaygın olarak kullanılan dört elektronik nem ölçerinin %11-%38 (Yb.) aralığında nem içeriğine sahip 881 mısır örneği üzerindeki sonuçlarını standart fırın kurutma yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Nem ölçerlerin sapma modellerinin, fırın nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak regresyon denklemleriyle belirlendiği çalışma sonucunda, kalibrasyon sapma hatalarının markalar arasında farklılık gösterdiği ve nem ölçer tipine göre sapma hatalarının yaklaşık %1.5 ile-%3.5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Wu ve Hurburgh (1993), mısırın nemini ölçmek için kapasitans ve yakın kızılötesi ölçüm cihazlarının performanslarını değerlendirdikleri çalışmalarında, Motomco 919, Dickey-john GAC 2000 ve Steinlite SB 900 kapasitans tip ve Foss Grainspec ve Trebor 99 tip yakın kızılötesi nem ölçüm cihazlarını 222 örnek üzerinde test etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda, örneğin nem içeriğindeki artışla cihazın ölçüm değerlerinin doğruluğunda düşüş meydana geldiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar yakın kızılötesi ölçüm cihazlarının, tüm nem aralığı boyunca nemi daha doğru bir şekilde ölçtüğünü ve bu cihazlardaki ölçüm değişkenliğinin, kapasitans tipi nem ölçerlere göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Nelson ve Lawrence (1994) direnç ve kapasitans ölçüm yöntemlerini kullanarak, %7-20 nem içeriğine sahip dört çeşit soya fasulyesinin nem içeriğini belirledikleri çalışmalarında, direnç yönteminde %0.68'lik standart hata, 1MHz ve 5 MHz frekansta ölçüm yapılan kapasitans yönteminde ise %0.56 standart hata ile doğru sonuçlara ulaştıklarını ifade etmişlerdir.

Tripathi vd. (1996) 0.2 – 2 kHz frekans bölgesinde dielektrik sabitleri kapasitans tekniğini kullanarak buğday, hardal, soya fasulyesi, keten, bakliyat ve pirinç tanelerinin nem içeriğinin belirlenmesine yönelik yürüttükleri çalışmalarında, ölçüm değerlerinin değişen nem seviyesi ile önemli düzeyde bir değişiklik gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Tang vd. (2000) mikrodalga fırın yöntemi kullanarak mısır tanesinin farklı olgunlaşma dönemlerindeki nem içeriğini belirledikleri çalışmalarında, mikrodalga fırın (tane ve öğütülmüş mısır örnekleri), fırın kurutma (tane mısır, 105 °C, 48 ve 72 saat; öğütülmüş 130 °C, 4 saat) ve DICKEY John cihazıyla belirledikleri nem ölçüm sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda, araştırmacılar öğütülmesinden dolayı uygulama zorluğuna rağmen, öğütülmüş tanelerin 130 °C'de 4 saat kurutma yönteminin en doğru sonuçlar verdiğini, DICKEY John cihazının ölçüm sonuçlarının, özellikle %30 dan daha yüksek nem içeriğine sahip örneklerin ölçümünde değişkenlik oranının en yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar mikrodalga fırının, yüksek nem içeriğine sahip örneklerin nem

içeriğini hızlı (-60 dakika) ve doğru bir şekilde tahmin etmede kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Bao vd. (2005) tahılların dielektrik özelliklerini kullanarak soya fasulyesinin nem içeriğini belirlemeye yönelik geliştirdikleri cihazın 0.1-2000 kHz frekans aralıklarında elektriksel özellikleri ile nem içeriği arasındaki ilişkilerini inceledikleri çalışmalarında, eşdeğer kapasitans ile soya fasulyesi nem içeriği arasında üstel bir ilişki olduğunu ve optimum frekans değerinin 1 kHz olduğunu belirlemişlerdir.

Rai vd. (2005) tek bir pille çalışan, 500 g ağırlığında, kapasitif metoduna dayalı, sonuçların ekranda rahatça okunabileceği, portatif, sahaya uygun ve ucuz bir nem ölçüm cihazı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu cihaz ile tahılın nem oranındaki kapasitans değişimini voltaj değişimine dönüştürerek ürünün nem içeriğinin tahmin edildiği, sonucunun ise yüzde olarak ekrana yansıtıldığı ifade edilmiştir. Çalışmada, cihazın buğday, çeltik, soya fasulyesi, ayçiçeği ve hardal için kalibre edilmiş olmasına rağmen ihtiyaca göre diğer ürünlerin nem ölçümünü yapabilmek amacıyla kalibre edilebilir özellikte olduğu vurgulanmıştır. Geliştirilen cihazda sıcaklık sensörünün bulunmaması okuma sonucunu az da olsa etkilese de %5- 25 arasında neme sahip tahılların nem içeriği ölçümünü %0.1 doğrulukta güvenle gerçekleştirilebildiği bildirilmiştir.

İşiker H. (2007) Tahılların dielektrik katsayısını göz önünde bulundurduğu kapasitif algılama yöntemine dayalı nem ölçüm cihazını geliştirdikleri çalışmalarında, buğday üzerine yapılan deneylerde sıfır nem içeriğine sahip buğdayın dielektrik sabitinin, 4,7 ile 5,2 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu değişime buğdayın boyut, hacim ağırlığı, şekil gibi fiziksel özelliklerinin neden olduğu ifade edilmiştir. Buğday çeşidine göre dielektrik sabiti değiştiğinden dolayı cihaz tek tür bir buğdaya göre kalibre edildiğinde ve başka bir buğday çeşidi ile ölçüm yapıldığında ölçüm değerlerinin de farklı olacağını belirtmişlerdir. Geliştirilen sistemde buğday için genel bir ortalama dielektrik değer alınarak hesaplandığından ölçümdeki hassasiyetin var olan cihazlarınkinin çok üstünde olacağı ifade edilmiştir.

Oluwaranti ve Ajayi (2008) Tahılların hasat ve depolama işlemleri esnasında tanelerinin fizyolojik kalitelerinin korunmasının yanında, fiyatlarının belirlenmesinde önemli bir yere sahip olan nem içeriklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi amacıyla çok sayıda tahıl nem ölçüm cihazının geliştirilmiş olduğunu ve bu cihazların kalibrasyonlarının ise fırın kurutma yöntemine göre yapıldığını ifade etmişlerdir. Bu amaçla araştırmacılar iki farklı ticari nem ölçerin (HE 90 ve Multi grain) ölçüm değerlerinin doğruluk derecelerini fırın kurutma yöntemiyle karşılaştırarak test etmişlerdir. Çalışma sonucunda, her iki nem ölçüm cihazının da ölçüm sonuçlarının, standart fırın yönteminden daha düşük olduğunu, multi grain nem ölçerin standart fırın yöntemine göre hata oranını %20-62, HE-90'da ise %2 olarak belirlemişlerdir.

Tomaraei (2010) tahılların dielektriksel özelliklerinin hızlı nem algılama sistemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanıldığını vurguladığı tez çalışmasında, tahılların nem içeriğini doğru, güvenilir ve kısa sürede belirleyecek silindirik ve paralel plakalı radyo frekans (RF) tipi nem ölçme düzenleri geliştirmiştir. Geliştirilen RF nem ölçme düzenlerinin nem ölçme yeteneğinin araştırıldığı çalışma sonucunda, deneysel olarak elde edilen nem değerleri ile geliştirilen RF nem ölçme sistemiyle ölçülen nem değerleri arasında iyi bir uyum olduğu ve her iki RF nem ölçme sistemiyle ölçülen nem değerlerinin, büyük bir doğrulukla deneysel nem değerlerini temsil ettiği vurgulanmıştır.

Nelson ve Trabelsi (2011) tahılların ve taneli ürünlerin nem içeriğinin belirlenmesinin önemi ve bu ürünlerin elektriksel özelliklerinin algılanmasına dayalı nem ölçüm cihazlarının gelişimini tartıştıkları çalışmalarında, tahıl tanelerinin ve yağlı tohumların geçirgenliklerinin, nem içeriklerinin hızlı algılanması açısından oldukça önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Bu prensibe göre 1- 20 MHz frekanslarında çalışan çok sayıda ölçüm cihazının geliştirildiği, fakat bu cihazların ölçüm değerlerinin elektrik alanının frekansına, ürünlerin nem içeriğine, sıcaklığına ve hacim ağırlıklarına göre değiştiği vurgulanmıştır.

Zhang ve diğerleri (2013) kapasitans ile dielektrik sabiti arasındaki ilişkiye dayalı olarak geliştirdikleri sensörün performansının değerlendirilmesine yönelik

yürüttükleri çalışmalarında, mısırın nem içeriği ile sensör kapasitansı arasındaki ilişkiyi deney yoluyla elde ettikten sonra, en küçük kareler uydurma yöntemiyle birinci, ikinci ve üçüncü dereceden denklemler halinde vermişlerdir. Sonuçta, mısır nemini ölçüm yöntemlerinden kapasitans yönteminin, basit yapısı, düşük maliyeti ve çevrimiçi ölçüme uygunluğu açısından tercih edildiği ifade edilmiştir.

Shi vd. (2015) tahılların nem içeriğini belirlemek amacıyla dielektrik katsayısını kullanarak geliştirdikleri ölçüm cihazının kalibrasyonunu gerçekleştirmek için cihazın ölçüm sonuçlarıyla fırın kurutma yöntemi arasındaki ilişkiyi gösteren bir denklem geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda istatistiksel olarak önemli olduğu belirtilen regresyon modellerine göre, cihaz ölçüm sonuçları ile fırın kurutma yöntemi sonuçları arasında kübik polinom bir ilişkinin olduğunu ($R^2=0,995$) belirlemişlerdir. Geliştirilen denklem ile ölçüm cihazının buğdayın nem içeriğini yüksek doğrulukta tahmin edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Onaç vd. (2016) öğütülmüş mısır numunelerinde nem içeriğinin NIR spektroskopisi ile tespitinde farklı kemometrik tekniklerin etkisini belirlemek amacıyla yürütmüş oldukları çalışmalarında, doğru ön işlem ve seçilmiş dalga boyları ile mısır numunelerinde nem içeriğinin başarılı bir şekilde tespit edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Otero (2018) yürüttüğü tez çalışmasını, ayrılabilir bir tahıl numune alma kabı (algılama kabı), bir veri toplama devresi (nem ölçer cihazı) ve nem ölçer cihazını akıllı telefonlara bağlayan bir Android uygulamasından oluşan düşük maliyetli bir tahıl nemi ölçerini geliştirmiştir. Çalışma sonucunda %12 ile %27 nem içeriğindeki örneklerin nemin %1.1 doğrulukla ölçebildiğini gözlemlemiştir. Geliştirilen bu cihazın küçük ölçekteki çiftçiler için zaman tasarrufu sağlayabileceği ve ekonomik açıdan kolay bir şekilde elde edilebileceğini ifade etmiştir.

Akter vd. (2018) gelişmekte olan ülkelerde depolama esnasında tahılların nem içeriklerinin doğru olarak belirlenememesinden dolayı ürün kayıplarının çok yüksek olduğunu, çiftçilerin ve tüccarların ihtiyaçlarına uygun, düşük maliyetli bir tahıl nem ölçere sahip olmaları halinde, tahıl depolama koşullarının kontrol altına

alınabileceğini ifade etmişlerdir. Yürüttükleri bir anket çalışmasında, çiftçilerin ihtiyaçlarını giderdikten sonra kalan ürünleri nakit ihtiyacından kaynaklı kurutmadan sattıklarını ve düşük maliyetli bir nem ölçere sahip oldukları takdirde bu yaklaşımdan vazgeçip daha az kayıpla depolama yapabileceklerini belirtmişlerdir. Çalışmada, ucuz, dijital okuma yapabilen, farklı tahıl türlerinde ölçüm yapabilen nem ölçerlerin tercih edildiği gözlemlenmiştir.

Nathk ve Ramanathan (2019), çeltiğin uzun süreli güvenli olarak depolanabilmesi için nem içeriğinin sürekli olarak doğru ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu amaçla, çeltik tanelerinin dielektrik sabitinin hesaplanmasına yardımcı olan devre kullanılarak belirlenen kapasitif ölçüme dayalı bilgisayar arayüzüne sahip nem ölçer geliştirmişlerdir. Geliştirilen ölçüm cihazının yüksek doğruluk değerlerine sahip, basit yapılı ve ucuz olduğu ifade edilmiştir.

Kahrıman vd., (2019) yürütmüş oldukları bir çalışmada, farklı nem ölçüm yöntemlerinden (Mini-GAC, Pin, Etüv ve NIR) elde edilen sonuçları karşılaştırarak, bu sonuçlar arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen verilere uygulanan varyans analizi sonuçlarına göre kullanılan cihaz ve genotiplerin nem değerlerinde saptanan değişim üzerindeki etkisinin önemli, Genotip $\times$ Cihaz interaksiyonunun istatistiki olarak önemsiz olduğunu saptamışlardır. Regresyon analizi sonuçlarına göre etüv ile NIR cihazından elde edilen sonuçlardaki genotip sıralamasında yüksek bir benzerlik olduğu ($R^2=0.98$) gözlenmiştir. Taşınabilir nem cihazlarından Pin tipi ölçüm cihazından elde edilen sonuçların hem etüv ($R^2=0.77$) hem de NIR ($R^2=0.81$) ile elde edilen sonuçlar ile yüksek regresyona sahip olduğu görülmüştür. Ancak elde edilen değerlerden oluşturulan regresyon denkleminde ait kesme değerinin (intercept) yüksek olduğu dikkat çekmiştir. Mini-GAC cihazından elde edilen sonuçlar ile diğer yöntemlerden alınan nem değerleri arasındaki ilişki düşük bulunmuştur. Çalışmada, gelecekte buna benzer çalışmaların yapılmasının nem ölçümünün doğru tahmin edilebilmesi açısından faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Hanlı (2020) yürüttüğü yüksek lisans tezinde analog anahtarlama tabanlı modülasyon tekniklerini kullanarak kapasitif buğday nem sensörü prototip tasarımını gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen nem sensörü prototipinin, ithal

edilmekte olan nem sensörlerinin laboratuvar ortamındaki sapma miktarının altında ($\sim \pm 0,3$) kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca ithal nem sensörlerinin ortam ve buğday özellikleri (hektolitire, cins, yöre ...) gibi etmenler için belirli aralıklarla kalibrasyon yapılması gerekirken, geliştirilen nem sensörü prototipinin belirtilen etmenler için kalibrasyona ihtiyaç duymayacağı ifade edilmiştir. Geliştirilen analog anahtarlama tabanlı kapasitif tahıl nem sensörünün, tahıl endüstrisinde yüksek maliyetlerle ithal edilmekte olan muadillerine performans ve maliyet konusunda alternatif olacağı ileri sürülmüştür.

Li vd. (2021) mısırın kurutulması esnasındaki nem içeriği değişimini çevrimiçi algılayan ölçüm cihazının gelişiminin endüstriyel kurutma süreçlerine yönelik önemli bir teknolojik gelişim olacağını vurguladıkları çalışmalarında, kapasitif ölçüm yöntemine dayalı bir sensör geliştirmişlerdir. Çalışmada, geliştirilen nem ölçüm cihazı kullanılarak porozite değişiminin nem içeriği ölçümü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında %14,7 ila %26,4 w.b. nem içeriği aralığı, 5 °C ila 35 °C sıcaklık ve %38,4 ila %44,6 gözeneklilik için mısır nem içeriğini hesaplamaya yönelik bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Jafari vd. (2022) özellikle gelişmekte olan ülkelerde tahılların güvenli depolanması için göz önünde bulundurulacak önemli parametrelerden biri olan nem içeriklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenebilmesi için taşınabilir, doğru ölçüm yapabilen ve uygun maliyetli ölçüm cihazlarına ihtiyaç duyulduğunu ve piyasada farklı tipte çok sayıda cihazın bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bu amaçla, piyasada yaygın olarak kullanılan farklı tip nem ölçerlerin hassasiyet ve doğruluk seviyelerini belirlemeye yönelik yürüttükleri çalışmada, KSU-GT200, John Deere, SW08120, Agratronix MT-16, Dickey-john M3G, Hygrometer, DryCard cihazların ölçüm sonuçlarını, standart fırın kurutma yöntemine göre değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, ölçüm cihazının fiyatı ve ölçüm doğruluğu arasında ilişkinin olmadığını belirlemişlerdir. Örneğin, Agratronix MT-16 ölçüm cihazının fiyatı daha düşük olmasına rağmen hassasiyet ve doğruluk seviyelerinin John Deere SW08120 cihazından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, KSU GrainMate GT200 ölçüm cihazının fiyatının ucuz ve doğruluk seviyesinin uygun sınırlar arasında olduğu gözlemlenmiştir. John Deere SW08120 nem ölçüm cihazının %14.5

(y.a.) nem içeriğine sahip mısır örneklerinin nem içeriğini yüksek doğrulukla ölçebildiğini, Dicky-John M3G ve John Deere SW08120 nem ölçüm cihazlarının ise %22 (y.a.)'nin üzerindeki nem içeriğine sahip buğday örneklerinin ölçümünde hata verdiklerini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, nem ölçüm cihazlarının satın alındıktan sonra ve sahada kullanım sırasında düzenli aralıklarla standart bir fırın kurutma yöntemiyle karşılaştırılarak kontrol edilmesini tavsiye etmişlerdir.

Flor vd. (2022) tahıllardaki nem içeriğinin tahmini ve algılanmasında kullanılan geleneksel teknolojiler ve yeni gelişmeleri araştırdıkları çalışmalarında, piyasada, dolaylı yöntemler ve yeni teknolojiler kullanılarak çalışan, yanıt süreleri, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı açısından oldukça kullanışlı olan çok sayıda taşınabilir nem ölçüm cihazının bulunduğunu, bu cihazların doğruluk ve hassasiyetlerinin çeşit özellikleri ve çevre koşullarından etkilendiklerini ve dolayısıyla kalibrasyonlarının kullanıldıkları bölgelere göre yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Şahin (2023) yürüttüğü tez çalışmasında dielektrik katsayısının değişimini algılayabilen, kapasitif yöntemle gerçek zamanlı nem ölçümü yapabilen, elektromekanik bir tahıl nem sensörü tasarımı yaparak tahıl kurutma makinesinin otomasyon sistemine entegre etmişlerdir. Çalışma kapsamında, sensör ölçüm kabında oluşan kapasitansı ve bu kap içerisinde geçen tahıl sıcaklığını da ölçen, modbus protokolü ile haberleşme ortamına aktarabilen, mikrodenetleyici ve bu mikrodenetleyiciye ait yazılımı içeren sensör elektronik kartı imal edilmiştir. Çalışmada, piyasada bulunan nem ölçerlerin, 32 °C'nin üzerinde sıcaklığa sahip tahılların nem içeriğini doğru bir şekilde test etme yeteneğine sahip olmadığı ifade edilmiştir. Ayrıca, soğuk bir iklimde hasat edilen tahıl örneklerindeki yoğunlaşmış yüzey nemi elektronik test cihazlarında yüksek okumalara, diğer taraftan, henüz oda sıcaklığına ulaşmamış aşırı kuru, sıcak tahıl tanelerinin dış katmanları, elektronik test cihazlarında tipik olarak düşük okumalara neden olacağı vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışmada kullanılan mısır çeşitleri ve çeşit adaylarının özellikleri

Bu çalışmada 5 farklı mısır çeşidi ve 2 mısır çeşit adayı olmak üzere toplamda 7 farklı tohumluk mısır çeşidi kullanılmıştır. Materyal olarak kullanılan mısır çeşitlerinden biri olan Pioneer 2105 Diyarbakır'da üretimini gerçekleştiren çiftçilerden alınırken, KWS-KEFRANCOS mısır çeşidi Ziraat Fakültesi Deneme Alanlarındaki parsellerden, geriye kalan P 0729, DKC 5812, P 3394 ve DH690 ile ADK 1432 çeşit adayları ise GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğünden alınmıştır. Yürütülen çalışmada kullanılan mısır çeşitleri ve çeşit adaylarının bazı fiziksel özelliklerinin ortalamaları ile standart hataları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan çeşit ve çeşit adayları özellikleri

Mısır çeşitleri ve çeşit adayları	Nem içeriği, %	Boyut, mm			100 tane ağırlığı, g	Hacim ağırlığı, g cm-3
		Genişlik	Kalınlık	Uzunluk		
Pioneer 2105	11-12	7.88±0.70	4.81±0.98	12.73±1.11	36.75±1.79	0.763±0.07
KWS	12-13	7.88±0.70	4.81±0.98	12.73±1.11	36.75±1.79	0.763±0.07
Pioneer 0729	12-13	9.04±0.38	4.83±0.43	10.77±0.79	31.73±1.82	0.70±0.02
DKC 5812	12-13	9.02±0.76	5.04±0.43	10.20±1.15	32.17±0.83	0.73±0.02
Pioneer 3394	12-13	8.03±0.91	5.02±0.95	10.61±0.89	31.78±0.98	0.76±0.02
DH690	12-13	8.57±0.76	5.99±1.12	10.27±1.12	38.55±1,43	0.79±0.01
ADK 1432	12-13	7.55±0.94	5.18±0.72	10.62±0.70	31.60±0.34	0.75±0.01

3.1.2 Çalışmada kullanılan cihazlar

3.1.2.1 Nem ölçüm cihazları

PM-450: Ürünlerin nemini dielektrik metoduna göre ölçer. Malzemeleri kırmadan ve ezmeden ölçtüğü için tahribatsız ölçüm sağlamaktadır. Standart sapması %0.5 olan cihazın ürün nem ölçüm aralığı %1-%40 arasında ve 5 ile 10 saniye arasında ölçüm sonucuna ulaşılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 PM 450 dökmeli tahıl nem ölçüm cihazı

WİLE-55: Bu cihaz kapasitans yardımıyla nem ölçümünü gerçekleştirmektedir. Sıkıştırma metodunu kullanarak, 15 farklı tahıl çeşidini ölçmektedir. Ürün nem ölçüm aralığı %8-%35 olan cihaz, hafızasına yerleştirilmiş bir programla tahılın ölçülen elektriksel özelliklerine göre nem içeriğini tahmin etmektedir (Şekil 3.2). Cihaz, biri elektronik devre kartında ve diğeri cihazın test hücresinde olmak üzere iki sıcaklık sensörüne sahiptir. Bu sensörler, numunenin sıcaklık farkını telafi eder ve ölçüm cihazının kendisi sunulan nem değerini otomatik olarak düzeltir.



Şekil 3.2 Wile 55 sıkımalı tahıl nem ölçüm cihazı

PFEUFFER HE LİTE: Bu nem ölçer 14 farklı tahıl ürününün nemini ölçebilir. Dökülen malzemeyi ezme ve parçalama yoluyla numunenin iletkenliğini ölçme prensibine dayanır ve ölçümler tekrarlanabilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Pfeuffer HE Lite kırmalı tahıl nem ölçüm cihazı

3.1.2.2 Hassas Terazı

Mısırların tartımı için WL 3002L marka dijital hassas terazi kullanılmıştır. Elektronik olan bu terazi ± 0.001 duyarlılıkla 3000 g tartım kapasitesine sahiptir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Elektronik Hassas Terazı

3.1.2.3 Kumpas

Bu çalışmada tane boyutlarını ölçmede 0-150 mm aralığında 0.01 hassasiyetle ölçüm yapabilen dijital bir kumpas kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Tane Şekil ve Boyutlarının Ölçümünde Kullanılan Kumpas

3.1.2.4 Etüv

Çalışmadaki örneklerin nem içeriklerini standart fırın kurutma yöntemiyle belirlenmesinde 50-250 °C ölçme aralığına sahip sıcaklık ve zaman ayarlı standart sıcak hava akışlı bir etüv kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan etüv

3.1.2.5 Termometre

Mısır örneklerinin sıcaklığının ölçümünde 0,1 °C hassasiyetle ölçüm yapabilen bir termometre kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Çalışmada kullanılan termometre

3.2 Yöntem

3.2.1 Denemelerin düzenlenmesi

Temel amacı, tahılların nem içeriğini belirlemede kullanılan portatif nem ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyetliklerini belirlemek ve bu cihazların ölçüm sonuçlarına etkili parametreleri araştırmak olan bu çalışmada, piyasada yaygın olarak kullanılan tahıl nem ölçerlerin farklı nem içeriğine sahip mısır örneklerindeki ölçüm sonuçları, fırın kurutma yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı deneme yürütülmüştür. Birinci denemede üç farklı tahıl nem ölçüm cihazı (PM-450 dökmeli, Wile 55 Sıkmalı, Pfeuffer HE Lite Kırmalı), higroskopik olarak farklı nem değerlerine (%11-12, %16-17, %19-22, %23-25, %27-29, % 30-31 y.a.) koşullandırılmış Pioneer 2105 mısır çeşidi örneklerinin nem içeriğini belirlemede kullanılmıştır. Tesadüf bloklarında bölünmüş parseller yöntemine göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülen deneme deseninde, ana parselleri ölçüm cihazları, alt parselleri ise örneklerin nem içerikleri oluşturmuştur. İkinci denemede, ürün sıcaklığının cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülen çalışmada, %15-16 nem içeriğine sahip mısır örneklerinin farklı sıcaklıklardaki (17-18 °C, 20-21 °C, 25-27 °C, 32-33 °C) cihaz ölçüm sonuçları, fırın kurutma yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğruluk ve hata düzeyleri belirlenmiştir. Üçüncü denemede, mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazı sonuçlarına etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, yedi farklı mısır çeşidi (Pioneer 2105, KWS-KEFRANCOS, P 0729, DKC 5812, P 3394) ve çeşit adayları (DH690 ile ADK 1432) tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekrarlamalı olarak denenmiştir.

3.2.2 Mısır örneklerinin hazırlanması

Deneme materyali mısır örneklerinin hedeflenen nem içeriklerini (%11-12, %16-17, %19-22, %23-25, %27-29, % 30-31 y.a.) elde etmek amacıyla Pioneer 2105 mısır çeşidi higroskopik olarak farklı nem değerlerine koşullandırılmıştır. Bu amaçla ilk nem içeriği belirlenmiş örneklerin üzerine 3.1’de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanan distile su ilavesi yapılmış ve daha sonra örnekler sızdırmaz plastik bir torba içerisine konularak, soğuk hava deposunda +4 °C’de 15 gün bekletilmiştir (Irtwange ve Igbeka, 2002).

$$W = \left(\frac{M_2 - M_1}{100 - M_2} \right) * W_1 \quad (3.1)$$

Burada;

“W” İstenilen nem seviyesini elde etmek için örneğe eklenmesi gereken su miktarı (g); “M₂” İstenilen nem seviyesi (% y.a.); “M₁” Örneğin mevcut nem içeriği (%y.a.); “W₁” Örnek ağırlığı (g)

3.2.3 Fırın kurutma yöntemine göre mısır örneklerinin nem içeriğinin belirlenmesi

Kullanılan tane mısır örneklerinin nem içeriği, ASAE S352.2 standardına göre tespit edilmiştir (ASAE, 2002). Bu amaçla, tane mısır yığınının yaklaşık 15 gramlık üç örnek, 103 °C’de yaklaşık 72 saat sıcak hava akışlı etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonrası örneklerin ağırlıkları tartıldıktan sonra nem içerikleri yüzde yaş ağırlık esasına (%y.a.) göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Ayık, 1985).

$$M_{ya} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) * 100 \quad (3.2)$$

Burada;

“M_{ya}” Ürünün Nem içeriği (%y.a.), “W₁” Ürünün ilk ağırlığı (g), “W₂” Ürünün kurutma sonrası ağırlığı, g

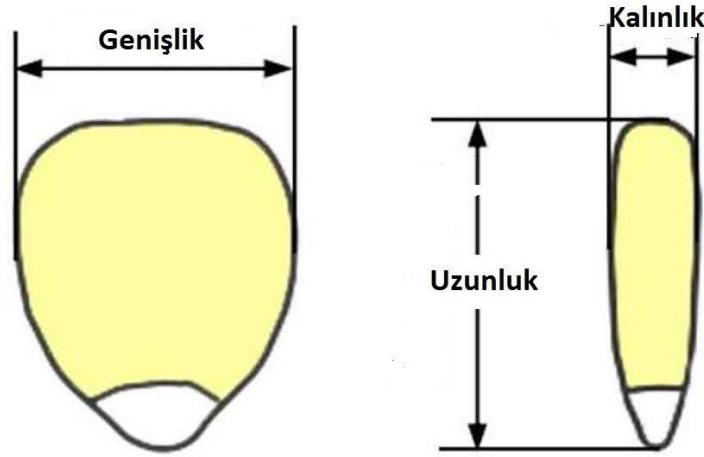
3.2.4 Tahıl nem ölçüm cihazlarıyla mısır örneklerinin nem içeriğinin belirlenmesi

Çalışmada tahılların nem ölçümünde piyasada yaygın bir şekilde kullanılan portatif tip (PM 450, Wile 55, Pfeuffer HE Lite) nem ölçüm cihazları kullanılmıştır. Dökmeli tip PM 450 tahıl nem ölçerle ölçüm yaparken, ölçülmek istenen ürün, ürün kabıyla (5-6 saniye içinde) cihazın içine homojen boşaltılarak ölçüm yapılmıştır. Sıkmalı tip olan Wile 55 tahıl nem ölçer kapalı durumdayken ölçü kabı kullanılarak ölçüm haznesinin dörtte biri taneyle doldurulduktan sonra, cihaz yavaşça sallanarak tanelerin ölçüm kabına daha sıkı yerleşmesi sağlandıktan sonra, ölçüm haznesi ağzına kadar doldurulmuş, ölçü kapağı döndürülerek sıkı şekilde kapatılmış ve

cihazın açma tuşuna basılarak ölçüm yapılmıştır. Kırmalı tip portatif nem ölçüm cihazı Pfeuffer HE Lite ile ölçüm yapılırken kapak üzerindeki hazneye el değmeden yığın içerisinde örnekler alınarak cihaz ölçüm haznesine dökülmüş ve kapak sıkıca kapatıldıktan sonra ölçüm yapılmıştır. Cihazlardaki tüm ölçümler 5 defa tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Tüm cihazlar için ölçümler yapılırken, kullanım kılavuzundaki talimatlara uyulmuştur.

3.2.5 Mısır tanelerinin boyut özelliklerinin belirlenmesi

Mısır tanelerinin boyutları, dijital kumpas ile ölçülmüştür. Her bir örnekten 50 adet tane rastgele seçilerek genişlik, kalınlık ve uzunluk boyutlarına (Şekil 3.8) ait ölçümler yapılmış ve elde edilen verilerin ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.8 Tane mısırın genişlik, kalınlık ve uzunluk boyutları

3.2.6 Mısır tanelerinin ağırlıklarının belirlenmesi

Mısır tanelerinin ağırlıklarını belirlemek amacıyla, 1/1000 g hassasiyette ölçüm yapabilen dijital (elektronik) bir terazi kullanılmıştır. Her bir mısır örneğinden 100 tane olmak üzere rasgele 5 adet örnek dijital terazide tartılarak sapma değerleri hesaplanmıştır.

3.2.7 Mısır örneklerinin hacim ağırlığının belirlenmesi

Mısır örneklerinin hacim ağırlığı dereceli silindir ve elektronik terazi kullanılarak belirlenmiştir. Huni içine ürün huninin çıkışındaki kapak açılarak dereceli silindirin dolması sağlanmıştır. Ürünle dolan dereceli silindirin yüzeyi tahtadan yapılmış bir

çubuk ile zigzag hareketi yaptırılarak düzeltilmiştir. Daha sonra dereceli silindirdeki ürün alınarak hassas terazide tartılmıştır. Her ürün çeşidi için ölçüm işlemi dört defa tekrarlanmıştır. Tartılan ürün çeşitlerinin hacim ağırlıkları g/cm^3 olarak hesaplanmıştır.

3.2.8 Tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyetlerinin belirlenmesi

Cihazların doğruluk dereceleri, cihazın ölçüm değeri ve referans fırın ölçüm değerleri arasındaki fark göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Cihaz ve fırın ölçüm değerleri arasındaki farkın küçük olması, cihazın doğru ölçüm yaptığı anlamına gelmektedir. Ölçüm cihazının doğruluğu 3.3'teki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$CD = M_{cihaz} - M_{fırın} \quad (3.3)$$

Burada;

“CD” Cihazın doğruluk derecesi (%); “ M_{cihaz} ” cihaz ölçüm sonucu (%); “ $M_{fırın}$ ” fırın kurutma yöntemi ölçüm sonucu (%)

Cihazların hassasiyetleri, her nem seviyesindeki ölçüm tekrarlamalarının standart sapması hesaplanarak belirlenmiştir. Standart sapmanın düşük olması, hassasiyet derecesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

3.2.9 Cihazların hata oranının belirlenmesi

Çalışmada kullanılan cihazların ölçüm sonuçlarının hata oranları, fırın kurutma yöntemi göz önünde bulundurularak 3.4'te verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$CHO = \left(\frac{|M_{fırın} - M_{cihaz}|}{M_{fırın}} \right) * 100 \quad (3.4)$$

Burada;

“CHO” Cihazın doğruluğu (%); “ M_{cihaz} ” cihaz ölçüm sonucu (%); “ $M_{fırın}$ ” fırın kurutma yöntemi ürün nem içeriği ölçüm sonucu (%)

3.2.10 Elde edilen verilerin analizi

Denemelerden elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulurken, cihaz ölçüm sonuçlarının ürün nem içeriği, çeşidi ve sıcaklığa göre değişimi regresyon eşitlikleri ve grafikler ile sunulmuştur.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Tane mısırın nem içeriğinin cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi

Fırın nem ölçüm yöntemi ile tahıl nem ölçüm cihazlarının tane mısırın farklı nem içeriği aralıklarındaki ortalama ölçüm değerleri ve standart sapmaları Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda, PM 450 cihazının ortalama ölçüm değerleri düşük nem içeriği aralıklarındaki referans fırın ölçüm değerlerinden daha yüksek, yüksek nem içeriği aralıklarında ise daha düşük olurken, Wile 55 sıkmalı ve Pfeuffer HE Lite Kırmalı cihazlarda ise yüksek nem içeriği aralığındaki ölçüm değerlerinin referans fırın ölçüm değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ürün nem içeriğinin %30’dan yüksek olması durumunda Wile 55 sıkmalı ölçüm cihazının hata verdiği (ölçüm yapamadığı) gözlemlenmiştir. Ölçüm cihazlarının hassasiyetlerinin (standart sapmaları) ürün nem içeriğiyle değişimi incelendiği zaman, ürün nem içeriğindeki artışla, cihazların standart sapmalarının yükseldiği diğer bir ifadeyle hassasiyetlerinin azaldığı görülmektedir. Cihazların hassasiyetleri karşılaştırıldığında ise, Pfeuffer HE Lite Kırmalı ölçüm cihazının standart sapmasının en düşük, başka bir ifadeyle hassasiyetinin en yüksek, Wile 55 sıkmalı ölçüm cihazının ise en düşük olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Tahıl nem ölçüm cihazlarının tane mısırın farklı nem içeriği aralıklarındaki ortalama ölçüm değerleri ve standart sapmaları

Örneğin nem içeriği aralığı, % (y.a)	Nem içeriği, % (y.a.)							
	Fırın		PM 450		Wile 55		Pfeuffer HE Lite	
	Ortalama	SD	Ortalama	SD	Ortalama	SD	Ortalama	SD
11-12	11.50	0.08	13.20	0.22	11.42	0.33	12.50	0.10
16-17	16.18	0.13	18.60	0.30	16.15	0.46	17.28	0.10
20-21	21.35	0.19	22.00	0.65	22.18	1.26	22.28	0.37
24-25	24.00	0.16	24.70	0.65	27.70	1.25	26.44	0.42
28-29	28.37	0.45	26.80	0.95	34.43	1.33	30.90	0.45
30-31	30.80	0.17	29.05	0.95	-	-	32.79	0.79

Farklı nem içeriğine sahip mısır örneklerinin ölçümünde kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluklarına yönelik elde edilen verilere ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.2.'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, ölçüm doğruluğu yönünden cihaz tipleri arasında önemli derecede farklılıkların olduğu, aynı şekilde ürün nem içeriğinin ve ürün nem içeriği x cihaz tipi interaksiyonunun da etkisinin çok önemli olduğu görülmektedir ($p<0.001$). Cihaz tipi x ürün nemi interaksiyonunun önemli

olması, ürün neminin cihaz ölçüm doğruluğuna etkisinin cihaz tiplerine göre farklı olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 4.2. Tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluklarına yönünden elde edilen verilere ilişkin varyans analizi sonuçları (SD: serbestlik derecesi, P: Önem düzeyi)

Varyasyon Kaynakları	SD	P
Cihaz	2	<.0001
Nem	5	<.0001
Cihaz*Nem	10	<.0001
Hata	6	0.3676

Tahıl nem ölçüm cihazlarının farklı nem içeriğine sahip mısır örneklerinin ölçümündeki sonuçların doğruluğunu gösteren Tablo 4.3 incelendiği zaman, nem ölçüm cihazı ölçüm değeri ile standart fırın kurutma yöntemi değerleri arasındaki farkın, Wile 55 cihazında en yüksek olduğu, PM 450 ve Pfeuffer HE Lite cihazları arasında istatistiki anlamda önemli bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Örneklerin nem içeriklerinin, cihazların doğruluğuna etkisi yönünden nem içeriğinin artışıyla cihaz ölçüm sonucu ile referans fırın kurutma ölçüm yöntemleri arasındaki farkın arttığı görülmüştür.

Tablo 4.3 Tahıl nem ölçüm cihazlarının farklı nem içeriği aralıklarındaki mısır örneklerinin ölçüm sonuçlarının doğruluğuna ilişkin ortalama değerleri ve LSD grupları*

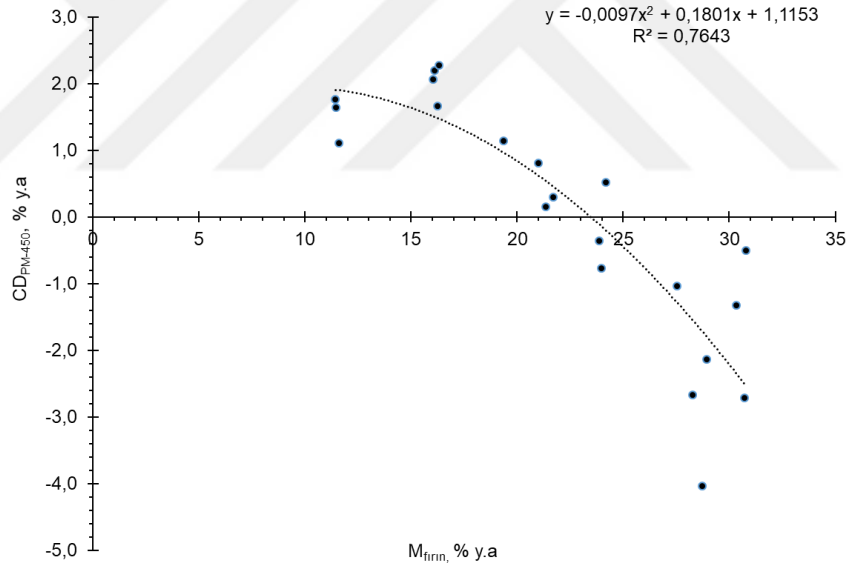
Örneğin nem içeriği aralığı, % (y.a)	Cihaz doğruluğu, % (y.a.)			
	PM 450	Wile 55	Pfeuffer HE Lite	Ortalama
11-12	1.21 d-h	0,58 g-h	0.77 f-h	0.85 d
16-17	2.05 c-f	0,41 h	1.10 c-h	1.18 d
20-21	0.60 g-h	1.32 d-h	1.72 cg	1.21 d
24-25	1.21 d-h	2.87 c	2.25 ce	2.11 c
28-29	2.47 cd	5.70 b	2.28 ce	3.48 b
30-31	1.75 c-g	31.05 a	1.53 d-h	11.44 a
Ortalama	1.55 b	6.99 a	1.61 b	

*Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık $p < 0.05$ seviyesinde önemlidir.

Çalışmada kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının doğruluk derecelerinin, tane mısırın nem içeriğine göre değişimi PM450 cihazı için Şekil 4.1’de, Wile 55 cihazı için Şekil 4.2’de, Pfeuffer HE Lite Kırmalı ölçüm cihazı için ise Şekil 4.3’te verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tane mısırın %11-31 nem içeriği aralığında yapılan ölçümlerde PM 450 cihazının ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki fark +%1.92 ile-%2.62 (y.a) arasında değişmiştir. Nem içeriğinin % 21’den düşük olduğu tane mısır örneklerinin nem içeriğinin belirlenmesi esnasında referans fırın yöntemine göre cihazın ölçüm değerlerinin daha yüksek olduğu, nem

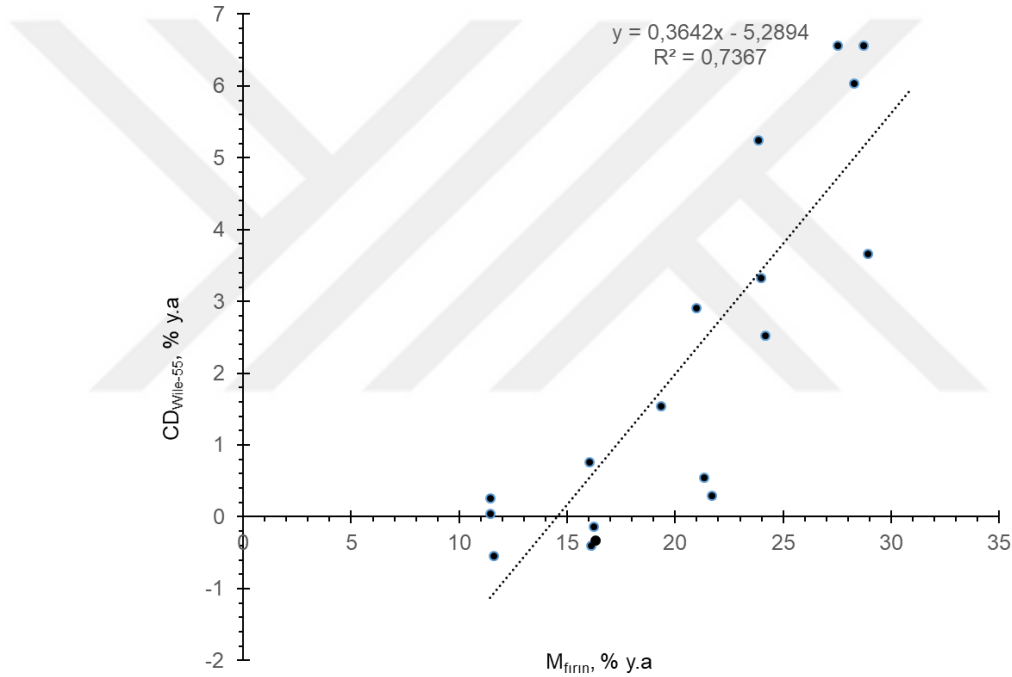
içeriği %21'den yüksek olan örneklerin ölçümünde ise cihazın ölçüm değerlerinin referans fırın ölçüm değerlerinden daha düşük olduğu Şekil 4.1'de görülmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda mısırın nem içeriği ile cihazın ölçüm doğruluğu arasındaki ilişki önemli bulunmuş ve ürünün nem içeriğindeki artışının cihaz ile referans fırın ölçüm değerleri arasında meydana gelen farktaki artış oranına ilişkin geliştirilen ilişki $R^2 = 0.7643$ ile $Y = -0.0097X^2 + 0.1801X + 1.1153$ olarak hesaplanmıştır. Bu cihazın ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki en düşük fark, başka bir ifadeyle cihaz ölçümlerinin en doğru olduğu ürün nem içeriği aralığı ise % 21-23 (y.a.) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Hurburgh vd. (1985) ürün nem içeriğinin tahıl nem ölçüm cihazlarının ölçüm değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, ürün nem içeriğinin %15-20 (y.a.) arasında olduğu ölçümlerde cihazlar ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki farkın en az olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 4.1 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi (CD, cihaz doğruluğu; $M_{fırın}$, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği).

Wile 55 tahıl nem ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerde, mısırın nem içeriği yaş ağırlık esasına göre %11-12 dolaylarında olduğunda cihazın ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki fark-%1'den düşük iken, %27-28'lik nem içeriğine sahip örneklerde %6 (y.a.)'dan fazla olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda mısırın nem içeriği ile cihazın ölçüm doğruluğu

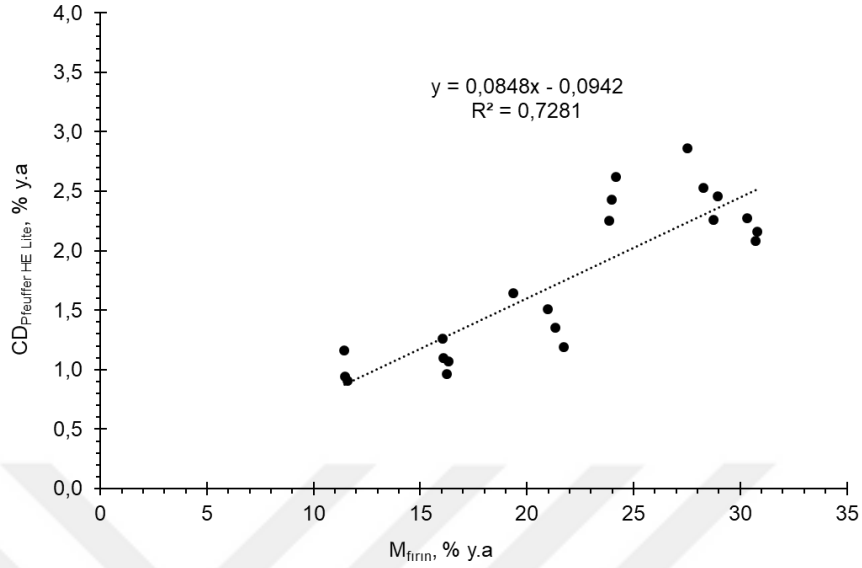
arasındaki ilişki önemli bulunmuş ve ürünün nem içeriğindeki artışın cihaz ile referans fırın ölçüm değerleri arasında meydana getirdiği farktaki artış oranına ilişkin ilişki $R^2 = 0.7367$ ile $Y = 0.3642X - 5.2894$ olarak hesaplanmıştır. Bu cihazın ölçümlerinin en doğru olduğu ürün nem içeriği aralığı ise % 14-15 (y.a.) olarak belirlenmiştir. Hurburgh vd. (1986) nem içeriği %25'in üzerinde olan mısırın neminin yaklaşık olarak 5 birim eksik tahmin edilmesinin depolama esnasında ciddi bir tehlike oluşturacağını ifade etmektedirler. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Wile 55 tahıl nem ölçüm cihazının kalibrasyonu yapılmadan %20 (y.a) üzerinde nem içeriğine sahip mısırın nem içeriğinin sağlıklı bir şekilde ölçülemeyeceğini göstermektedir.



Şekil 4.2 WILE55 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi (CD, cihaz doğruluğu; M_{fırın}, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği)

Pfeuffer HE Lite Kırmalı tahıl nem ölçüm cihazında ise, tane mısırın %11-31 nem içeriği aralığında yapılan ölçümlerde cihazın ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki fark +%0.96 ile +%2.45 (y.a) arasında değişmiştir (Şekil 4. 3). Yapılan regresyon analizi sonucunda mısırın nem içeriği ile cihazın ölçüm doğruluğu (cihaz ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki fark) arasında doğrusal bir ilişki ($Y = 0.0848X - 0.0942$; $R^2 = 0.7281$)'nin olduğu görülmüştür. Ölçülen verilerin %73'ünü temsil eden eşitliğe göre ürünün nem içeriğinde 1 birimlik artışın cihaz ile

referans fırın ölçüm değerleri arasındaki farkı 0.0848'lık bir miktarda artırdığı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.3 PFEUFFER HE LİTE tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın nem içeriğine göre değişimi (CD, cihaz doğruluğu; $M_{fırın}$, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği)

Farklı nem içeriğine sahip mısır örneklerinin ölçümünde kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının sonuçlarının hata oranlarının hesaplanmasıyla elde edilen verilere ilişkin varyans analizi sonuçları Tablo 4.4' te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre cihazların ölçüm sonuçlarındaki hata oranları yönünden cihaz tipleri arasında önemli derecede farklılıkların olduğu, aynı şekilde ürün nem içeriğinin ve ürün nem içeriği x cihaz tipi interaksiyonunun da etkisinin önemli olduğu görülmüştür ($p < 0.001$). Cihaz tipi x ürün nemi interaksiyonunun önemli olması, ürün neminin cihaz ölçüm sonuçlarının hata oranlarına etkisinin cihaz tiplerine göre farklı olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 4.4 Tahıl nem ölçüm cihazlarının hata oranlarına ilişkin varyans analiz sonuçları, (SD: serbestlik derecesi; P: Önem düzeyi).

Varyasyon Kaynakları	SD	P
Cihaz	2	<.0001
Nem	5	<.0001
Cihaz*Nem	10	<.0001
Hata	6	0,1498

Tahıl nem ölçüm cihazlarının farklı nem içeriğine sahip mısır örneklerinin ölçümündeki sonuçların hata oranlarını gösteren Tablo 4.3 incelendiği zaman, nem

ölçüm cihazı ölçüm değeri ile standart fırın kurutma yöntemi değerleri arasındaki farkın, Wile 55 cihazında en yüksek olduğu, PM 450 ve Pfeuffer HE Lite cihazları arasında istatistiki anlamda önemli bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Örneklerin nem içeriklerinin cihazların hata oranına etkisi incelendiği zaman en yüksek cihaz hata oranı, %30-31 nem içeriği aralığına sahip örneklerde görülürken, %11-12, %16-17, %20-21, %24-25 nem içeriğine sahip mısır örnekleri arasında istatistiki anlamda önemli düzeyde farklılık olmadığı görülmüştür.

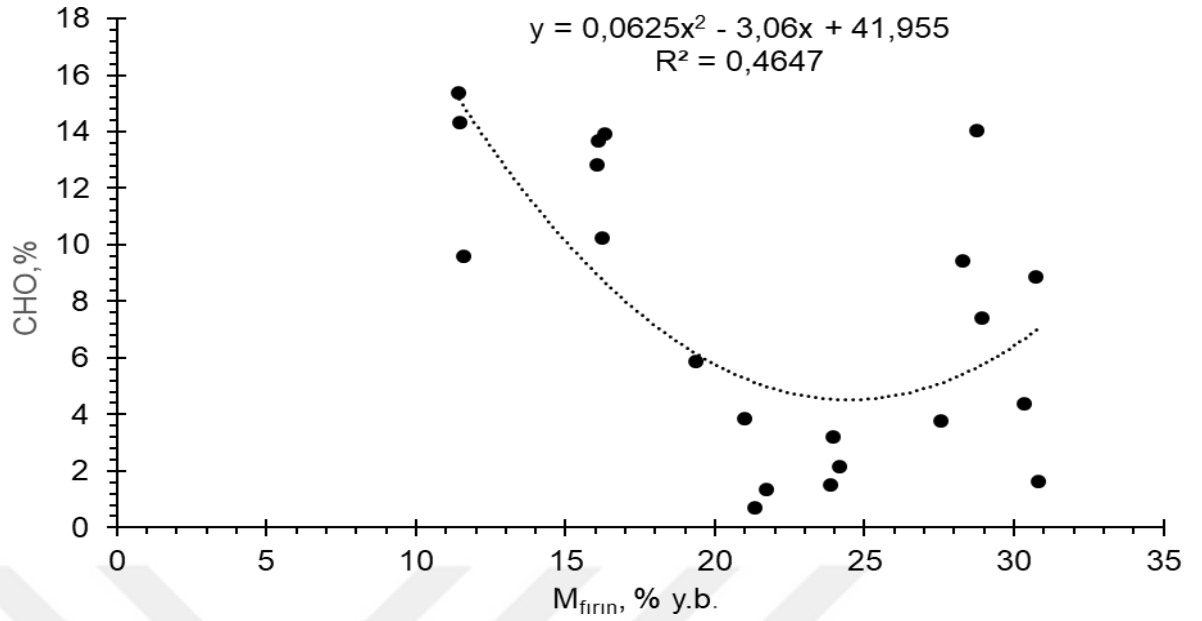
Tablo 4.5 Tahıl nem ölçüm cihazlarının farklı nem içeriği aralıklarındaki mısır örneklerinin ölçüm sonuçlarının hata oranına ilişkin ortalama değerleri ve LSD grupları*.

Örneğin nem içeriği aralığı, % (y.a)	Cihaz hata oranı, %			
	PM 450	Wile 55	Pfeuffer HE Lite	Ortalama
11-12	10.49 ce	4.70 f-h	6.67 d-h	7.28 c
16-17	12.66 c	2.53 h	6.79 d-h	7.32 c
20-21	2.95 g-h	6.43 d-h	8.28 d-h	5.89 c
24-25	4.66 f-h	11.93 cd	9.18 c-f	8.59 c
28-29	8.67 c-g	20.16 b	8.05 c-h	12.29 b
30-31	5.67 e-h	100.00 a	8.97 c-h	36.88 a
Ortalama	7.52 b	24.29 a	7.32 b	

*Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık $p < 0.05$ seviyesinde önemlidir.

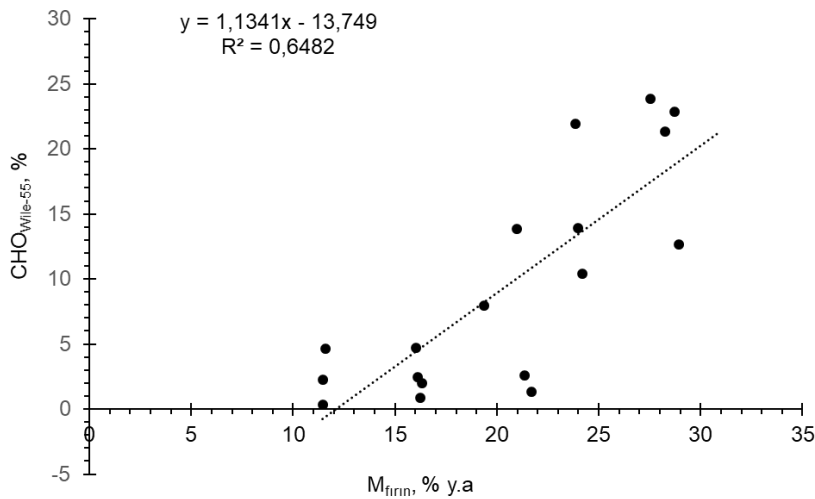
Çalışmada kullanılan tahıl nem ölçüm cihazlarının hata oranlarının, tane mısırın nem içeriğine göre değişimi PM 450 cihazı için Şekil 4.4'te, Wile 55 cihazı için Şekil 4.5'te, Pfeuffer HE Lite Kırmalı ölçüm cihazı için ise Şekil 4.6'da verilmiştir.

PM-450 cihazının ölçüm sonuçlarındaki hata oranının %15'ten düşük nem içeriğine sahip mısır örneklerinde %10'dan daha fazla olduğu, ürünün nem içeriğinin artışıyla cihazın ölçüm sonuçlarındaki hata oranının quadratik olarak azaldığı, ürün nem içeriğinin %25 dolaylarında olduğu zaman hata oranının minimum olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Ancak, mısır örneği nem içeriğinin %25'ten fazla olması cihaz ölçüm hata oranında tekrardan artış meydana getirdiği görülmüştür. Yapılan regresyon analiz sonucunda mısırın nem içeriği ile cihazın hata oranı arasındaki ilişki $R^2 = 0.4647$ ile $Y = 0.0625X^2 - 3.06X + 41.96$ olarak hesaplanmıştır.



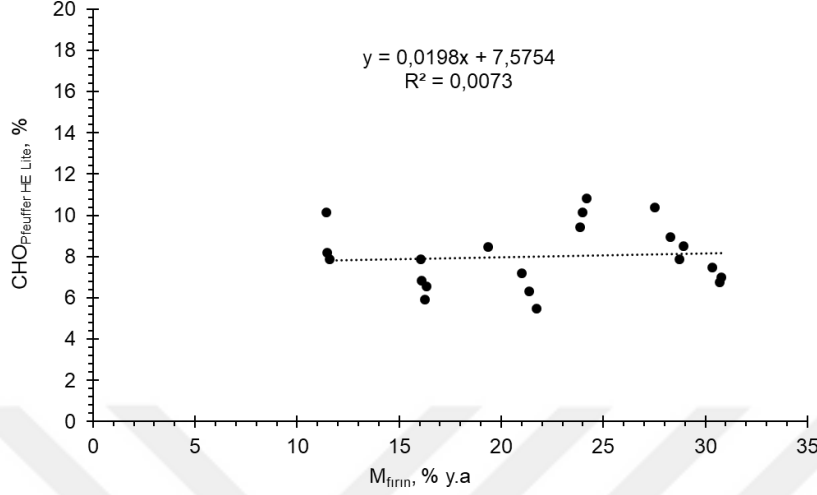
Şekil 4.4 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi (CHO, cihaz hata oranı; M_{fırın}, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği).

Wile 55 cihazının ölçüm sonuçlarındaki hata oranının ürünün nem içeriğinin artışıyla doğrusal olarak arttığı, ürün nem içeriğinde bir birimlik artışın cihaz ölçüm sonuçlarındaki hata oranında 1.134 dolayında artış meydana getirdiği görülmektedir (Şekil 4.5). Mısır örneği nem içeriğinin %30 ve daha fazla olması durumunda cihazın okuma yapmadığı gözlenmiştir. Nem içeriğinin %25 ve üzeri olması durumunda ölçüm hata oranının %15'in üzerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5 Wile-55 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi (CHO, cihaz hata oranı; M_{fırın}, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği).

Ürünün nem içeriğindeki değişimin Pfeuffer HE Lite cihazının ölçüm sonuçlarındaki hata oranında önemli düzeyde değişim meydana getirmediği, başka bir ifadeyle ürün neminin cihazın ölçüm sonuçlarını etkilemediği Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6 Pfeuffer HE Lite tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın nem içeriğine göre değişimi, (CHO, cihaz hata oranı; M_{fınn}, örneğin fırın kurutma yöntemiyle belirlenen nem içeriği).

4.2 Mısır tane sıcaklığının cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi

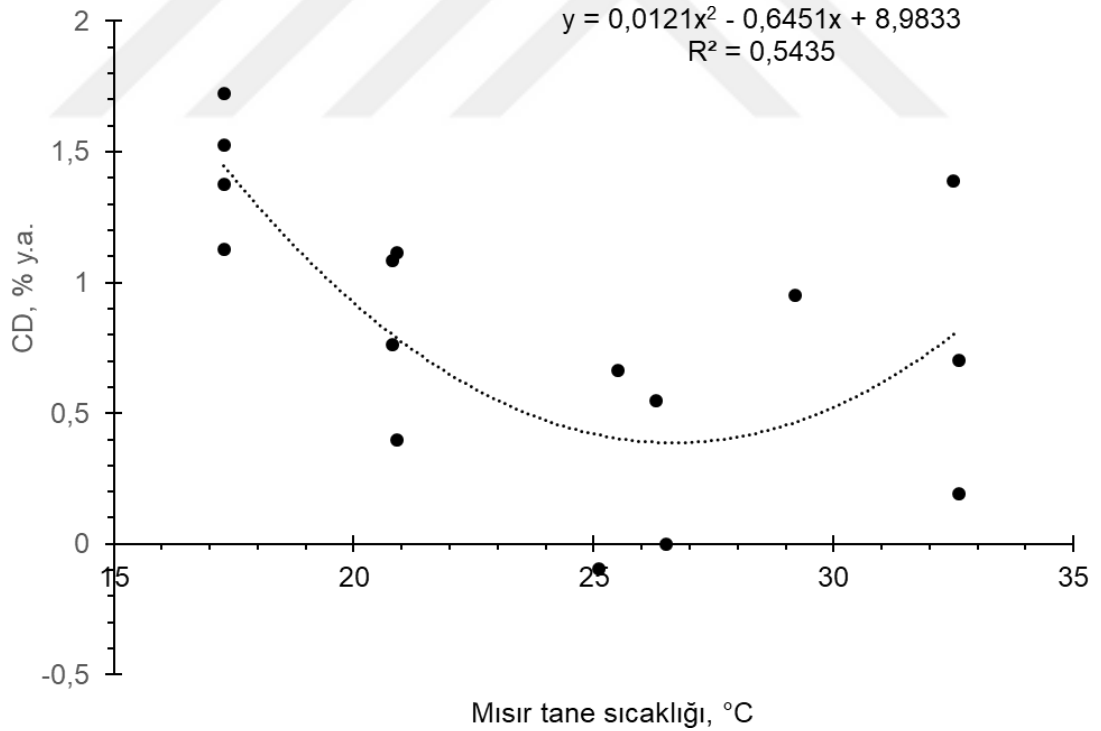
Ürün sıcaklığının PM-450 tahıl nem ölçüm cihazına etkilerinin belirlenmesine yönelik elde edilen verilere uygulanan varyans analizi sonucunda, ürün sıcaklığının hem cihaz doğruluğu hem de cihazın ölçüm sonuçlarındaki hata oranları üzerinde önemli etkiye sahip olduğu Tablo 4.6’da görülmektedir. En yüksek cihaz hata oranı, 17-18 °C ürün sıcaklığında meydana geldiği, 20-21 °C ve 25-26 °C ürün sıcaklıkları arasında istatistiki anlamda önemli farkın olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.6 Farklı ürün sıcaklıklarının PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluk ve hata oranına ilişkin ortalama değerleri ve LSD grupları*

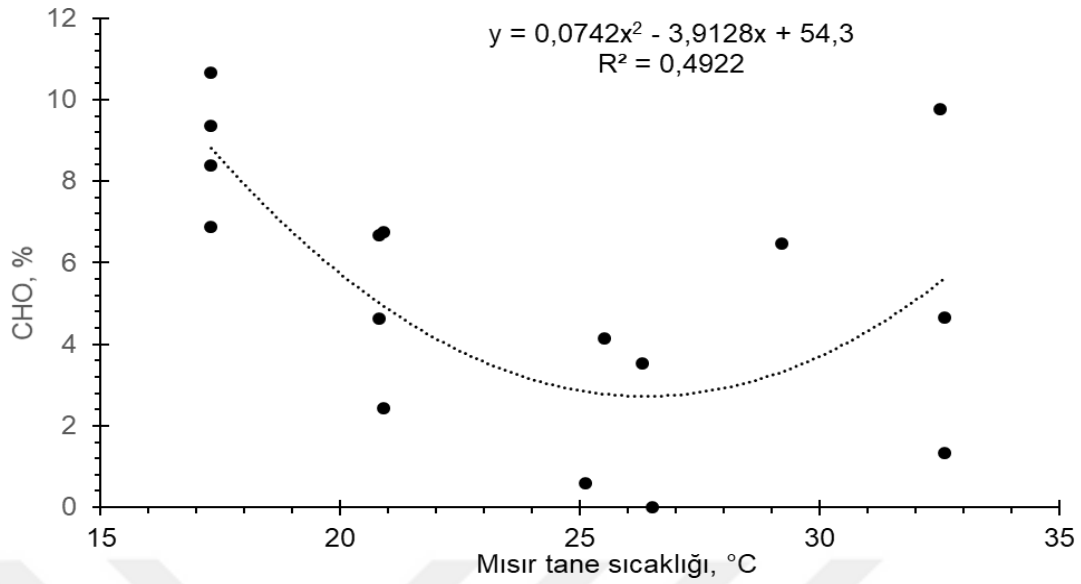
Örnek sıcaklığı, °C	Cihaz doğruluğu, % (y.a.)	Cihaz hata oranı, %
17-18	1.44 a	8.82 a
20-21	0.84 b	5.13 b
25-26	0.33 c	2.07 b
32-33	0.81 b	5.55 ab

*Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık p<0.05 seviyesinde önemlidir.

Nem içeriği %16-17 olan Pioneer 2105 mısır çeşidinin kullanıldığı PM-450 dökmeli tahıl nem ölçüm cihazının doğruluk ve hata oranı sonuçlarının ürün sıcaklığıyla değişimi ise sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi hem cihaz doğruluğu (cihaz ile fırın kurutma yöntemi nem ölçüm değerleri arasındaki fark) hem de cihaz hata oranının ürün sıcaklığıyla quadratik olarak azaldığı, yaklaşık olarak 25 °C’de en düşük olmuştur. Başka bir ifadeyle, 25-26 °C sıcaklık aralığında cihaz ölçüm sonuçlarının fırın kurutma yöntemi sonuçlarına en yakın olduğu, en doğru ölçüm sonuçlar elde edilmiştir. Şahin (2023) piyasada bulunan nem ölçerlerin, 32 °C’nin üzerinde sıcaklığa sahip tahılların nem içeriğini doğru bir şekilde test etme yeteneğine sahip olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca, araştırmacı soğuk bir iklimde hasat edilen tahıl örneklerindeki yoğunlaşmış yüzey nemi elektronik test cihazlarında yüksek okumalara, diğer taraftan, henüz oda sıcaklığına ulaşmamış aşırı kuru sıcak tahıl tanelerinin dış katmanları, elektronik test cihazlarında tipik olarak düşük okumalara neden olacağını vurgulamıştır.



Şekil 4.7 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğunun tane mısırın sıcaklığına göre değişimi, CD, cihaz doğruluğu

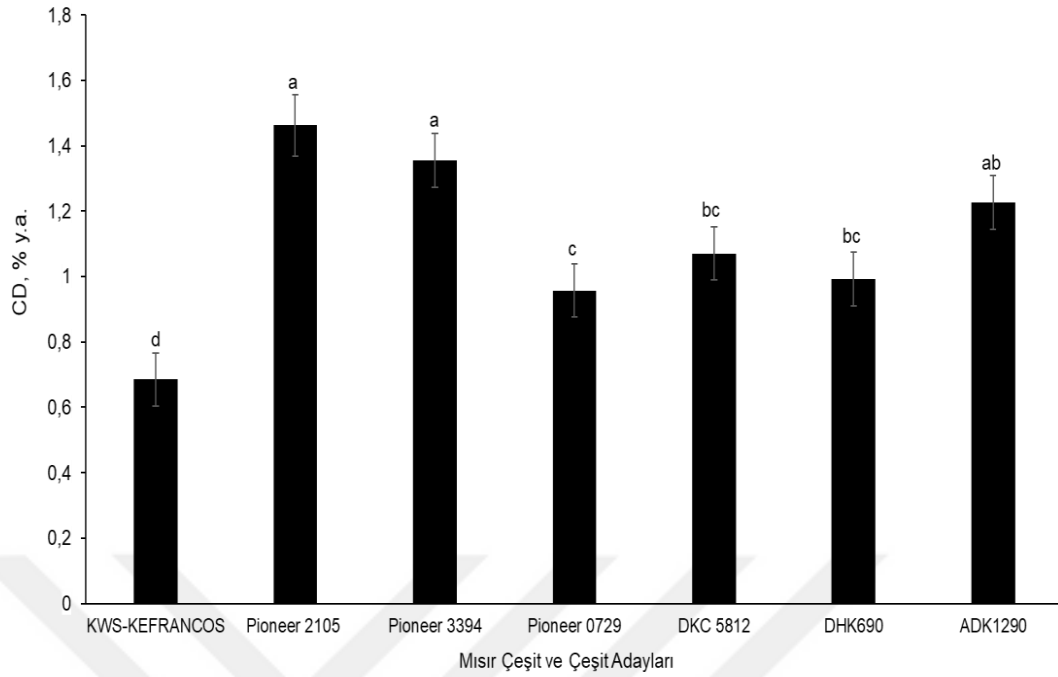


Şekil 4.8 PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranının tane mısırın sıcaklığına göre değişimi, CHO, cihaz hata oranı

4.3 Mısır çeşitlerinin PM 450 tahıl nem ölçüm cihazının sonuçlarına etkisi

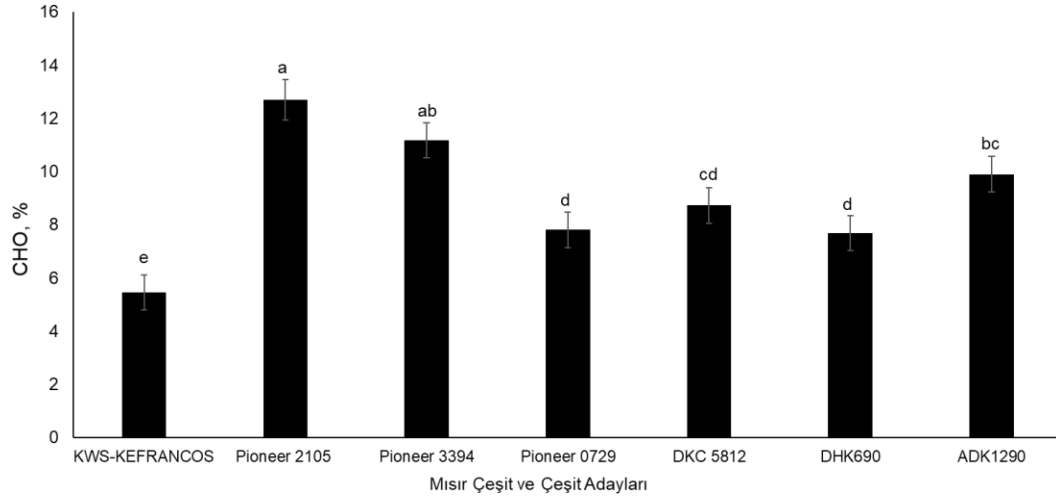
Mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazına etkilerinin belirlenmesine yönelik elde edilen verilere uygulanan varyans analizi sonucunda, çeşitlerin hem cihaz doğruluğu hem de cihazın ölçüm sonuçlarındaki hata oranları üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

Mısır çeşitlerinin %11-13 nem içeriği ve 18.6-18.9 °C tane sıcaklığı aralığında yapılan ölçümlerde, cihazın ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki en büyük fark (+%1.4-%1.5 (y.a)) Pioneer2105 ve Pioneer3394 çeşitlerinden elde edilirken, en düşük fark ise KWS-KEFRANCOS çeşidinin ölçümü esnasında elde edilmiştir. Başka bir ifadeyle, diğer çeşitlere göre KWS-KEFRANCOS çeşidiyle yapılan ölçümlerde cihaz ölçüm değerlerinin daha doğru olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9 Farklı mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının doğruluğuna etkisi, CD, cihaz doğruluğu

Mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranlarına etkisine yönelik sonuçları gösteren Şekil 4.10 incelendiği zaman, en yüksek cihaz ölçüm hata oranı Pioneer2105 çeşidinde (%13~14) elde edilirken, en düşük hata oranı ise KWS-KEFRANCOS çeşidinin (%5~6) ölçümü esnasında elde edilmiştir. Literatürde tahılların ve yağ bitkilerinin nem ölçümünde kullanılan sensör ve cihazların doğruluk ve hassasiyetlerinin ürün çeşitlerinin tane özellikleri, hacim ağırlığı, yoğunluk, sıcaklık, kimyasal bileşim ve safiyet gibi özellikleri yanında iklim koşullarındaki mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişebileceği ifade edilmiştir (Soltani ve Alimardani 2011, Zhang vd. 2013, Singh vd. 2017).



Şekil 4.10 Farklı mısır çeşitlerinin PM-450 tahıl nem ölçüm cihazının hata oranına etkisi, CHO, cihaz hata oranı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan portatif tip tahıl nemi ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyet dereceleri ile ölçüm sonuçlarının hata oranları belirlenmiştir. Ayrıca, bu cihazların ölçüm sonuçlarına etki eden faktörler araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı deneme yürütülmüştür. Birinci denemede üç farklı tahıl nemi ölçüm cihazı (PM-450 dökmeli, Wile 55 Sıkmalı, Pfeuffer HE Lite Kırmalı), higroskopik olarak farklı nem değerlerine (%11-12, %16-17, %19-22, %23-25, %27-29, % 30-31 y.a.) koşullandırılmış Pioneer 2105 mısır çeşidi örneklerinin nem içeriğini belirlemede kullanılmıştır. İkinci denemede, farklı sıcaklıklardaki Pioneer 2105 mısır çeşidi örneklerinin cihazların ölçüm sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir. Üçüncü denemede, yedi farklı mısır çeşidi (Pioneer 2105, KWS-KEFRANCOS, P 0729, DKC 5812, P 3394) ve çeşit adaylarının (DH690 ile ADK 1432) PM-450 tahıl ölçüm cihazına etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar doğrultusunda tavsiye edilen öneriler aşağıda sunulmuştur:

5.1 Sonuçlar

Çalışma sonucunda, ölçüm cihazları ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki farkın (cihazların doğruluk dereceleri) tane mısırın nem içeriğiyle değişiminin cihaz tiplerine göre farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca, ürünün nem içeriğinin artışıyla cihazların hassasiyetinin azaldığı gözlemlenmiştir.

PM 450 cihazının ortalama ölçüm değerleri düşük nem içeriği aralığında referans fırın ölçüm değerlerinden daha yüksek, yüksek nem içeriği aralığında ise daha düşük olurken, Wile 55 sıkmalı ve Pfeuffer HE Lite Kırmalı cihazlarda yüksek nem içeriği aralığındaki ölçüm değerlerinin referans fırın ölçüm değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tane mısırın %11-31 nem içeriği aralığında yapılan ölçümlerde PM 450 cihazının ölçüm değerleri ile referans fırın ölçüm değerleri arasındaki en düşük fark, başka bir ifadeyle cihaz ölçümlerinin en doğru olduğu ürün nem içeriği aralığı % 21-23 (y.a.) olarak belirlenirken, Wile 55 ölçüm cihazının ölçümlerinin en doğru olduğu ürün nem içeriği aralığı % 14-15 (y.a.) ve Pfeuffer HE Lite Kırmalı nem ölçüm cihazında %11-12 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan cihazların ölçüm sonuçlarının hata oranlarına yönelik değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda, mısır örneklerinin %11-31 nem içeriği aralığında en yüksek hata oranının %25'in üzerindeki nem içeriğinde Wile 55 ölçüm cihazında olduğu görülmüştür. Nem içeriğinin %30' un üzerinde olduğu durumlarda, Wile 55 cihazının hata verdiği gözlemlenmiştir. PM-450 cihazında ise %10-15 (y.a) nem örneklerinde hata oranı, %15 dolayında belirlenmiş, en düşük hata oranı %20-25 nem içeriği aralığında tespit edilmiştir. Pfeuffer HE Lite Kırmalı nem ölçüm cihazındaki ölçüm sonuçlarının örneğin nem içeriğinden etkilenmediği gözlemlenmiştir. Pfeuffer HE Lite Kırmalı nem ölçüm cihazındaki hata oranı yaklaşık olarak %8 dolayında seyretmiştir.

Nem içeriği %16-17 olan Pioneer 2105 mısır çeşidinin kullanıldığı PM-450 dökmeli tahıl nem ölçüm cihazının doğruluk ve hata oranı sonuçlarının ürün sıcaklığıyla değişimi incelendiğinde, hem cihaz doğruluğu (cihaz ile fırın kurutma yöntemi nem ölçüm değerleri arasındaki fark) hem de cihaz hata oranının ürün sıcaklığıyla quadratik olarak azaldığı, yaklaşık olarak 25 °C dolayında en düşük olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle, 25-26 °C dolayında cihaz ölçüm sonuçlarının fırın kurutma yöntemi sonuçlarına en yakın olduğu, en doğru ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Mısır çeşitlerinin %11-13 nem içeriği 18.6-18.9 °C tane sıcaklığı aralığındaki ölçümlerinde, çeşitlerin hem cihaz doğruluğu hem de cihaz hata oranı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür.

5.2 Öneriler

Çalışma sonuçlarına göre, piyasada kullanılan portatif tip nem ölçüm cihazlarının doğruluk ve hassasiyet derecelerinin ürünün nem içeriği, sıcaklığı ve çeşit özellikleri tarafından önemli düzeyde etkilendiği, nem ölçüm cihazlarının satın alındıktan sonra ve sahada kullanımı sırasında düzenli aralıklarla standart fırın kurutma yöntemiyle karşılaştırılarak kontrol edilmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, U., Kumar, M., Salamdin, Mahajan, B. V. C., Alam, M. S. (2015). Grain moisture measuring techniques - A Review. *Agricultural Engineering Today*, 39(2), 13-18
- Akter, T., Islam, M. S., Haque, Md. M. and Lowenberg-DeBoer, J. (2018). An experimental approach to estimating the value of grain moisture information to farmers in Bangladesh. *Journal of Stored Products Research*, 79, 53-59.
- Altuntas, E. ve Yıldız, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.), *Journal of Food Engineering*, 78(1), 174-183.
- Anonim. Tahıl Nem Ölçerler. <https://www.akyol.net/tahil-nem-olcerler>.
- Anonymous. 2001 Cereals and cereal products: Determination of moisture content- Routine reference method. Pp 1-7. Published by Ethiopian Standards Agency, Addis Ababa, Ethiopia.
- Armstrong, P. R., McNeil, S. G., Manu, N., Bosomtwe, A., Danso, J. K., Osekere, E., Opit, G. (2017). Development and evaluation of a low-cost probe-type instrument to measure the equilibrium moisture content of grain. *Applied Engineering in Agriculture*, 33(5), 619-627. <https://doi.org/10.13031/aea.12266>
- ASAE. (2002). ASAE Standards S352.2. Moisture measurement - unground grain and seeds. ASAE Standards, St. Joseph, MI: ASAE..
- Ayık. M. (1985). Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 957. 231s. Ankara.
- Babaoğlu, M. (2005). Mısır Tarımı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89>
- Bao, Y., Zhu, Z., Wu, Y. and He, Y. (2005). Study on Rapid Measurement of Soybeans Moisture Content Based on Dielectric Properties, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 39, No. 1.
- Çelik E. ve Parlak N. (2022). Endüstriyel Mısır Kurutmada Temel Parametreler ve Kurutma Sistemleri. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3): 1912-1933.
- FAOStat. (2021). FAO Stat. FAO, Rome. <http://www.fao.org/faostat>
- Flor O., Palacios H., Suárez F. , Salazar K., Reyes L. González M., Jiménez K. 2022. New Sensing Technologies for Grain Moisture. *Agriculture*, 12, 386. <https://doi.org/10.3390/>
- Gao S., Ming B., Li L., Xie R., Wang K., Li S. 2021. Maize grain moisture content correction: From nonstandard to standard system. *Biosystems Engineering*, 204, 212 -222
- Hanlı S. 2020. Analog Anahtarlama Tabanlı Kapasitif Buğday Nem Sensörü, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Hemeda, M.A., C.R. Hurburgh, Jr., and C.J. Bern. 1982. Effects of corn variety, mechanical amage and drying temperature on electronic moisture meters. ASAE Paper No. 82-3545 St. Joseph, MI 49085.
- Hurburgh, Jr. C. R., Hazen, T. E. and Bern C. J. (1985). Corn moisture measurement accuracy. Transactions of the ASAE. 28 (2), 634-640. (doi: 10.13031/2013.32311) @1985
- Irtwange, S. V. and Igbeka, J. C. (2002). Some physical properties of two African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) accessions and their interrelations with moisture content. Appl. Eng. Agric. 18 (5), 567-576..
- İşiker, H. (2007). Tahillarin Dielektrik Katsayılarına Bağlı Olarak Nem İçeriğinin Ölçülmesi Ve Silolarda Tahıl Seviyesinin Belirlenmesi İçin Sistem Tasarlanması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- Jafari, A., Tumbleson, M. and Rausch K.D. (2022). Evaluation of grain moisture measurement methods suited for developing countries. Journal of Stored Products Research 98, 102001
- Jones, S. B. , Sheng, W., Or, D. (2022). Dielectric measurement of agricultural grain moisture—theory and applications. Sensors, 22, 2083. <https://doi.org/10.3390/s22062083>
- Kaatze, U. (1996).Microwave dielectric properties of water. In Microwave Aquametry; Kraszewski, A., Ed.; IEEE Press: New York, NY, USA,
- Kahrıman F., Kaya S., Talay C., Songur U. 2019. Mısır Tanesinde Nem Tayini İçin Kullanılan Farklı Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Türkiye 13. Ulusal, 1. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi, 01-04 Kasım 2019, Antalya
- Kraszewski, A.W. and Nelson, S. O. (2004). Microwave permittivity determination in agricultural products. J. Microw. Power Electromagn. Energy, 39, 41–52.
- Lawrence, K. C., Nelson, S. O. and Kraszewski, A. W. (1990). Temperature dependence of the dielectric properties of wheat. Transactions of the ASAE. 33(2), 535-540.
- Li C., Zhang X., Meng M. Li B., Li C. 2021. Capacitive Online Corn Moisture Content Sensor Considering Porosity Distributions: Modeling, Design, and Experiments. Appl. Sci., 11, 7655. <https://doi.org/10.3390/app11167655>
- Nathk, D. and Ramanathan, P. (2019). Novel Technique to Measure Moisture Content of Paddy and the Error Correction. Gazi University Journal of Science. 32(3): 914-926
- Nelson S. O., Trabelsi S. 2011. Use of Grain and Seed Dielectric Properties for Moisture Measurement. In Agricultural Research Service; pp. 201–206. Available online: https://www.researchgate.net/publication/329813996_Use_of_Grain_and_Seed_Dielectric_Properties_for_Moisture_Measurement (accessed on 15 December 2021).

- Nelson, S. O. (1982). Factors affecting the dielectric properties of grain. *Trans. ASAE*, 25, 1045–1049,1056.
- Nelson, S. O. (1991). Dielectric properties of agricultural products—Measurements and applications,” *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, 26 (5), 845–869.
- Nelson, S.O. (1981). Review of factors influencing the dielectric properties of cereal grains. *Cereal Chem.* 58, 487–492.
- Nelson, S.O. (1991). Measurement and use of dielectric properties of agricultural products. *IEEE IMTC–91, Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp.636–640, 14–16 May
- Nelson, S.O. (2001). RF sensing of grain and seed moisture content. *IEEE Sensors Journal*, 1 (2), 119-126.
- Nelson, S.O. (2006) Agricultural applications of dielectric measurements. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 13, 688–702
- Nelson, S.O. (2006). Agricultural applications of dielectric measurements, *IEEE Trans. Dielect. Electr. Insul.*, 13 (4), 688-702, 10.1109/TDEI.2006.1667726
- Nelson, S.O. and Lawrence, K.C. (1994). RF Impedance and DC Conductance Determination of Moisture in Individual Soybeans. *Transactions of the ASAE*, 37(1), 179-182.
- Nelson, S.O. and Trabelsi, S. (2002) Sensing grain moisture content through dielectric properties. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, 2: 320–323,.
- Nelson, S.O. and Trabelsi, S. (2017). Principles of grain and seed moisture sensing through radio-frequency and microwave dielectric properties. In *Proceedings of the 2017 ASABE Annual International Meeting, Spokane,WA, USA*, 16–19 July p. 1.
- Nelson, S.O., Kraszewski, A.W., Trabelsi, S. and Lawrence, K.C. (1999) Using cereal grain permittivity for quality sensing by moisture determination. *IMTC/99, Proceedings of the 16th IEEE Conference on Instrumentation and Measurement Technology*, 1: 237–242.
- Obi, F. O., Ezeoha, S. L., Egwu, C. O. (2016). Evaluation of air oven moisture determination procedures for pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *International Journal of Food Properties*, 19, 2, 454-466.
- OIML. (2009). Moisture Meters for Cereal Grain and Oilseeds. <https://www.oiml.org/en/tc-sc-pg/committee-drafts/files/tc17-sc1-r59-5cd.pdf>
- Oluwaranti, A. and Ajayi, S. A. (2008). Determination of Moisture Content of Maize Seed: Comparison of Two Moisture Meters with the Oven Method. *Ife Journal of Agriculture* 23 (1), 32-39
- Onaç İ., Kahrıman F., Baytekin H. 2016. Mısırdaki Nem İçeriğinin Yakın Kızıl Ötesi (NIR) Spektroskopisi ile Tespitinde Farklı Kemometrik Yöntemlerin Etkisinin

Belirlenmesi. ÇOMÜ Zir. Fak. Derg., 4 (2): 117–124

- Otero M.P. 2018. Low-Cost Grain Moisture Meter System Networked to Smartphones. Msc thesis, the Faculty of Purdue University, School of Agricultural and Biological Engineering, West Lafayette, Indiana.
- Pathaveerat, S., Pruengam, P. (2020). Low cost measurement of moisture content in long grain paddy. Journal of Stored Products Research, 89, 101728.
- Paulsen, M.R., Hill, L.D. Dixon B.L.. 1984. Corn moisture meter-to-oven comparisons. Transactions of ASAE. 27(6):1917-1923.
- Rai, A.K., Kottayi, S. and Murty, S.N. (2005). A low cost field usable portable digital grain moisture meter with direct display of moisture (%). Science and Engineering Series AJST,6(1), 97–104.
- Şahin, İ. (2023). Yeni Bir Elektromekanik Tahıl Nem Sensörü Tasarımı vee Otomasyon Sisteminde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü elektrik-Elektronik Mühendisliği
- Şahin, S. (2001). Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı Ve Mısır Üretimi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21 (1), 73-90
- Shi, Q. I., Liu, Y., Zhang, W. (2015). Design of High-Frequency Based Measuring Sensor for Grain moisture Content.9th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Sep2015, Beijing, China.pp.197-207,10.1007/978-3-319-48357-3_19
- Singh, H., Bansod, B. S., Thakur, R., Singh, T. and Sharma, J. (2017). Calibration of Capacitive Cell for Measuring Moisture Content in Grains. International Journal of Pure and Applied Physics. 13 (1), 146-149
- Sokhansanj, S., Nelson, S.O. (1988). Dependence of dielectric properties of wheat on bulk density. J. Agric. Eng. Res., 39, 173–179.
- Soltani, M. and Alimardani, R. (2011). Prediction of corn and lentil moisture content using dielectric properties. Journal of Agricultural Technology, 7(5), 1223-1232.
- Tang, S., TeKrony, D. M., Collins, M. and McKenna, C. (2000). Determination of high seed moisture in maize. Seed Technology, 22 (1), 43-55.
- Tinna, A., Parmar, N., Bagla, S., Goyal, D., Senthil, V. (2021). Design and development of capacitance based moisture measurement for grains. Mater. Today Proc. 43, 263–267
- Tomaraei, P. (2010). Tahilda Nem Ölçümü İçin Rf Nem Algılayıcısının Geliştirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Trabelsi, S., Nelson, S.O. (2006) Temperature-dependent behaviour of dielectric properties of bound water in grain at microwave frequencies. Meas. Sci. Technol. 17, 2289.

- Tripathi, R.K., Gupta, M. and Shukla, J.P. (1996). Capacitance Technique For Measuring Moisture Content Using Dielectric Data-An Immersion Method, Conference Record of the 12th International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids (ICDL'96), Roma, Italy.
- TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu, Tarım İstatistik. 2020.
- Wraith, J.M. and Or, D. (1999). Temperature effects on soil bulk dielectric permittivity measured by time domain reflectometry: Experimental evidence and hypothesis development. *Water Resour. Res.*, 35, 361–369.
- Wu, Y., Hurburgh, Jr. C.R. 1993. New technologies for grain moisture measurement. ASAE aper No. 93-6574, ASAE. St. Joseph, MI 49085.
- Zambrano, M. V., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., Touchie, M. F. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 484-496. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.006>
- Zhang, H , Liu, W., Tan, B. and Lu W. (2013).Corn moisture measurement using a capacitive sensor *Journal of Computers*, 8 (6), 1627-1631.
- Zhang, H. Liu, W. Tan, B.& Lu, W. (2013). Corn moisture measurement using a capacitive sensor, *Journal of Computers*, 8 (6) 1627-1631.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

ACUN, Yeliz

Web sayfası
(Research Gate,
Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	DÜ Fen Bilimleri Enst.	Devam ediyor
Lisans	D.Ü. Ziraat Fak.	2015
Lise		2005

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Acun Y., Gürsoy S. 2023. Tahılların Nem İçeriğini Belirlemede Kullanılan Yöntemler ve Bu Amaçla Geliştirilen Aletlerin Değerlendirilmesi 11. INTERNATIONAL SUMMIT SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS. December 15-17, 2023 / Gaziantep, Türkiye

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Yeliz ACUN		
Öğrenci No	21822012		
Ana Bilim Dalı	Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans X	Doktora ☐
“			
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Songül GÜRSOY		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Tahıl Nem Ölçüm Cihazlarının Tane Mısırın Farklı Nem Ölçüm Aralıklarındaki Performanslarının Değerlendirilmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Öncesi		
Sayfa Sayısı	57		
Raporlama Tarihi	01.03.2024		
Benzerlik Oranı (%)	%11		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 48 sayfalık kısmına ilişkin, 18/01/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %11 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
XKaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Yeliz ACUN

Tarih:..2024

İmza:

Danışman Prof.Dr. Songül GÜRSOY

Tarih:12.03.2024

İmza:

Ana Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Abdullah SESSİZ

Tarih:12.03.2024

İmza:

