



SICAK HAVALI KURUTUCULAR İÇİN

AĞIRLIK İZLEME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

BURAK ERGÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Sefa TARHAN

Ekim - 2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAK HAVALI KURUTUCULAR İÇİN
AĞIRLIK İZLEME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

BURAK ERGÜNEŞ

TOKAT
Ekim - 2019

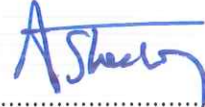
Her hakkı saklıdır

Burak ERGÜNEŞ tarafından hazırlanan “**Sıcak Havalı Kurutucular İçin Ağırılık İzleme Sistemi Geliştirilmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 8 Ekim 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

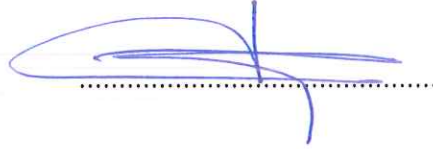
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Sefa TARHAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ
Yozgat Bozok Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Üye



ONAY

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Burak ERGÜNEŞ
8 Ekim 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAK HAVALI KURUTUCULAR İÇİN AĞIRLIK İZLEME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

BURAK ERGÜNEŞ

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SEFA TARHAN)

Kurutma, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikroorganizma faaliyetlerini durdurma işlemidir. Kurutmanın ürün nem içeriği, istenilen son nem içeriğine düştüğünde tamamlanması gerekmektedir. Kurutulan ürünlerin nem içeriklerinin belirlenmesinde çoğunlukla ağırlık verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sıcak havalı rafli kabin kurutucularında kurutulan ürünlerin anlık nem içeriğinin belirlenmesi için ağırlık izleme sisteminin geliştirilmesidir. Kurutma rafı ve tepsileri s-tipi bir yük hücresine asılarak tepsilerdeki kurutulan ıspanakların ağırlığı elektrik sinyaline dönüştürülmüştür. Yük hücresinden gelen elektrik sinyalleri sırasıyla sinyal dönüştürücü ve veri toplama kartına gönderilmiştir. Kurutucu kabini giriş ve çıkışında kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri de algılayıcılar yardımıyla ölçülerek veri toplama kartına gönderilmiştir. Veri toplama kartı gelen verileri saniyede bir kez bilgisayara aktarmıştır. Labview programı kullanılarak “Kurutma Süreci İzleme Uygulaması” geliştirilmiştir. Bu uygulama farklı görevleri eşzamanlı olarak yerine getirmiştir. Yapılan kurutma denemelerinde kabin içerisindeki hava akışının, yük hücresine asılmış halde olan kurutma rafı ve tepsilerine salınım yaptırdığı görülmüştür. Bu salınım, kurutulan ıspanakların ağırlık değişim eğrilerinde dalgalanmalara neden olmuştur. Yük hücresi titreşim sönümlenme montaj kitinin kullanılması bu dalgalanmaların genliğini büyük oranda azaltmış olmakla birlikte sıfırlayamamıştır. Dalgalanmaların küçük genliklerde bile gerçekleşmesi, kurutmanın sonlarına doğru anlık nem içeriği değerlerinde çok daha büyük dalgalanmalara neden olmuştur. Bu durum, kurutma işlemini başarıyla tamamlamak için sonlandırma kriteri olarak anlık nem içeriği değerleri yerine ağırlık değerlerinin kullanılmasının daha doğru olacağını göstermiştir.

2019, 74 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Veri toplama sistemi, Yük hücresi, Konvektif kurutma, Ispanak, Kurutma teknolojileri, Labview uygulaması

ABSTRACT

MASTER THESIS

DEVELOPMENT OF WEIGHT MONITORING SYSTEM FOR HOT-AIR DRYERS

BURAK ERGUNES

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF MECHATRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR : PROF. DR. SEFA TARHAN

Drying is to stop the biochemical reactions and microorganism activities in the products by removing the freewater in the products. The drying process must be completed when the moisture content of the product falls to the desired final moisture content. Weight data are often used to determine the moisture content of the dried products. Purpose of the study is to develop a weight monitoring system to determine the instant moisture content of the dried products in hot air rack cabinet dryers. The drying rack and trays were hung in an s-type load cell and the weight of the dried spinach in the trays was converted to electrical signal. The electrical signals from the load cell are sent to the signal converter and the data acquisition card, respectively. The temperature and relative humidity values of the drying air at the inlet and outlet of the dryer cabinet were also measured with the help of sensors and sent to the data collection card. The data acquisition card transferred the incoming data to the computer once per second. “View Drying Process Monitoring Application” was developed by using Labview program. This application has performed different tasks simultaneously. In the drying experiments, it was seen that the air flow inside the cabinet oscillates on the drying rack and trays suspended in the load cell. This oscillation caused fluctuations in the weight change curves of dried spinach. The use of the load cell vibration damping mounting kit has greatly reduced the amplitude of these fluctuations but has not been able to reset them. The fact that fluctuations occur even at small amplitudes caused much greater fluctuations in the instant moisture content values towards the end of drying. This has shown that it is more accurate to use weight values instead of instant moisture content values as the finishing criterion to successfully complete the drying process.

2019, 74 PAGE

KEYWORDS: Data acquisition system, Load cell, Convective drying, Spinach, Drying technologies, Labview application

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın hazırlanması ve uygulanması sırasında bilgi, tecrübe ve yardımlarıyla bana her türlü desteği sunan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Sefa TARHAN'a, değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Zafer DOĞAN ve Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK'e, araştırma olanaklarından yararlanmamı sağlayan Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Biyosistem Mühendisliği öğretim üyesi ve elemanlarına, tez çalışması boyunca desteklerini esirgemeyen Elektronik Yüksek Mühendisi Bekir DOĞAN ve Elektrik Elektronik Mühendisi Murat AĞIL'a teőekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aőamasında desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Burak ERGÜNEŞ
8 Ekim 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	11
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	26
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	52
6. KAYNAKLAR	54
7. EKLER	56
8. ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGE ve KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklamalar
AI	Analog Giriş
AO	Analog Çıkış
DAQ	Data Acquisition
DIO	Dijital Giriş Çıkış
HT-2	Sıcaklık/Bağıl nem algılayıcısı
KSIU	Kurutma Süreci İzleme Uygulaması
LABVIEW	Laboratuary Virtual Instruments For Engineering Workbench
NI	National Instrument
N_1	İlk nem miktarı (% , yb)
N_2	Son nem miktarı (% , yb)
N_s	Ürün son nem içeriği (%)
N_{yb}	Yaş baza göre nem içeriği (%)
N_{yt}	Ürünün t zamandaki nem içeriği (%)
ÖET	Özgül enerji tüketimi (kWh/kg su)
PT	Platin Termometre
TET	Kuruma boyunca tüketilen toplam elektrik enerjisi (kWh)
TSK	Yaş üründen toplam su kaybını (kg)
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)
VI	Virtual Instrument
ΔW	Üründen buharlaşacak su miktarı (kg)
W_i	İlk ürün ağırlığı (kg)
W_s	Ürünün son nem içeriğindeki ağırlığı (kg)
W_t	Ürünün t zamandaki ağırlığı (kg)
Yb	Yaş baz

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Bilgisayar tabanlı veri toplama sisteminin fonksiyonel diyagramı.....	5
Şekil 3.1. Sıcak havalı kabin kurutucu ve veri toplama sistemi üç boyutlu gösterimi....	11
Şekil 3.2. Kurutucu kabini.....	12
Şekil 3.3. Taşınabilir kurutma rafı ve tepsileri.....	12
Şekil 3.4. Elektrikli ısıtıcı ve fan sistemi.....	13
Şekil 3.5. Kontrol panosu kapağı dış yüzü.....	13
Şekil 3.6. Kontrol panosu içi.....	14
Şekil 3.7. Sıcaklık ve bağıl nem algılayıcıları ve dijital göstergeleri.....	14
Şekil 3.8. PT-100 sıcaklık algılayıcısı.....	15
Şekil 3.9. 24 V DC güç kaynağı.....	15
Şekil 3.10. Yük hücresi ve titreşim sönümlenme montaj kiti.....	16
Şekil 3.11. Yük hücresi için göstergeli sinyal dönüştürücü.....	16
Şekil 3.12. Veri toplama kartı (NI USB-6000).....	17
Şekil 3.13. Kurutma süreci izleme uygulamasında blok diyagramı penceresi.....	18
Şekil 3.14. Kurutma süreci izleme uygulaması takip penceresi.....	19
Şekil 3.15. Veri toplama sistemi bağlantı şeması.....	20
Şekil 3.16. Titreşim sönümle montaj kiti olmadan yük hücresinin montajı.....	21
Şekil 3.17. Titreşim sönümle montaj kiti kullanılarak yük hücresinin montajı.....	21
Şekil 3.18. Kurutma denemelerinde kullanılan taze ıspanak örneklerinin hazırlanması.....	22
Şekil 3.19. Hassas terazide ıspanak tartım.....	22
Şekil 3.20. Hava sıcaklığı ve bağıl nemi ölçme cihazı (Trotec T-210).....	24
Şekil 3.21. Anemometre (Prova AVM-07).....	25
Şekil 3.22. Hava hızı ölçüm noktaları.....	25
Şekil 3.23. Güç analizörü.....	25
Şekil 4.1. Birinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	29
Şekil 4.2. Birinci kurutma denemesi başlarında dalgalanmalar.....	29
Şekil 4.3. Birinci kurutma denemesi sonlarında dalgalanmalar.....	30
Şekil 4.4. İkinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	30
Şekil 4.5. Üçüncü kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	31

Şekil 4.6. Üçüncü kurutma denemesi başlarında dalgalanmalar.....	31
Şekil 4.7. Üçüncü kurutma denemesi sonlarında dalgalanmalar.....	32
Şekil 4.8. Dördüncü kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	32
Şekil 4.9. Beşinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	33
Şekil 4.10. Beşinci kurutma denemesi başlarındaki kararsız dalgalanmalar.....	33
Şekil 4.11. Beşinci kurutma denemesi sonlarındaki kararsız dalgalanmalar.....	34
Şekil 4.12. Altıncı kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi.....	34
Şekil 4.13. Altıncı kurutma denemesi başlarındaki kararsız dalgalanmalar.....	35
Şekil 4.14. Altıncı kurutma denemesi sonlarındaki kararsız dalgalanmalar.....	35
Şekil 4.15. Birinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	38
Şekil 4.16. Birinci kurutma denemesi başlarındaki dalgalanmalar.....	38
Şekil 4.17. Birinci kurutma denemesi sonlarındaki dalgalanmalar.....	39
Şekil 4.18. İkinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	39
Şekil 4.19. Üçüncü kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	40
Şekil 4.20. Dördüncü kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	40
Şekil 4.21. Beşinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	41
Şekil 4.22. Altıncı kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi.....	41
Şekil 4.23. Birinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	43
Şekil 4.24. İkinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	44
Şekil 4.25. Üçüncü kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	45
Şekil 4.26. Dördüncü denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	46
Şekil 4.27. Beşinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	47
Şekil 4.28. Altıncı kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi.....	48
Şekil 4.29. Kurutma uygulamasında “kurutma bitmiştir” mesajı görünümü.....	49

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Kurutma denemelerine ait bilgiler.....	26
Çizelge 4.2. Denemeler boyunca ölçüm cihazlarıyla ölçülen değerlerin ortalaması...28	
Çizelge 4.3. Ağırlık izleme sistemi verileri ile hassas terazi verilerinin karşılaştırılması.....	49
Çizelge 4.4. Denemelerde ısıpanakların nem kaybı ve enerji tüketimi.....	51



1.GİRİŞ

Endüstriyel üretim süreçlerinin farklı aşamalarındaki işlemlerin istenilen şekilde gerçekleştiğini tespit etmek ve gerektiğinde değişiklik yapmak için ilgili işlemlerin fiziksel özelliklerini tanımlayacak verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sanayi devriminin ilk aşamalarında bu veriler, basit ölçü aletleri kullanarak manuel olarak toplanmış ve kayıt edilmiştir. Toplanan verilerin sayısı sınırlı kaldığından ölçüm aletlerinin okuduğu değerleri grafik olarak kayıt eden ölçüm cihazları geliştirilmiştir. Elektronik teknolojilerinin gelişiminin ürünleri olan algılayıcılar (sensörler veya duyargalar) yardımıyla veriler, farklı ortamlardan istenilen sayı ve sıklıkta toplanarak elektronik veri depolama cihazlarında saklanabilmiştir (Günhoş, 1990). Günümüzde ise kablosuz veri iletim araçları (RF, WiFi, Bluetooth, ZigBee, vd) ve bilgisayar, telefon, tablet gibi cihazlara yüklenen özel yazılımlar aracılığıyla, algılayıcıların topladığı verilerin, çalışma ortamından uzakta gerçek zamanlı izlenmesi, depolanması ve analiz yapılması mümkün olmaktadır.

Veri toplama; voltaj, akım, sıcaklık, basınç, yük, debi, hız, ses gibi farklı elektriksel ya da diğer fiziksel büyüklükleri ölçme işlemidir. Bir veri toplama sistemi; algılayıcı/algılayıcılar, sinyal işleme birimi, kablolu veya kablosuz veri iletim aracı, bilgisayar ve özel olarak geliştirilmiş veri işleme yazılımından oluşmaktadır. Veri toplama sistemlerinin ilk elemanı olan algılayıcılar, ölçülen fiziksel veya elektriksel büyüklüğün değerine bağlı olarak bir elektrik sinyali üretmektedir. Günümüzde, kullanım alanlarına göre değişiklik gösteren çok farklı özelliklere sahip algılayıcılar bulunmaktadır. Sinyal işleme biriminin iki temel görevi, sinyallerin değerlerini istenilen oranlarda yükseltmek ve analog sinyalleri sayısal sinyallere dönüştürmektir. Bazı sinyal işleme birimlerinin içerisinde gürültü adı verilen elektrik parazitlerin giderilmesi için kullanılan filtreler bulunmaktadır. Sinyal işleme biriminden çıkan ve istenilen şekilde düzenlenmiş veri sinyalleri kablolu/kablosuz veri iletim araçları ile bilgisayara gönderilmektedir. Veri iletim araçlarının ana görevi veri sinyallerini kaybetmeden veya bozmadan istenilen uzaklığa kadar gönderebilmektir. Bilgisayar, gelen veri sinyallerinin alındığı, saklandığı, istenilen şekilde izlendiği ve işlendiği birimdir. Bilgisayarda bütün bu işlemlerin yapılmasında özel olarak geliştirilmiş veri işleme yazılımları kullanılmaktadır.

Veri toplama sistemlerinde kullanılan yazımlarından yaygın olarak kullanılan ve en gelişmiş Labview programıdır. Labview, endüstride ve bilimsel çalışmalarda süreçlerin otomasyonu ve yönetimi için National Instrument şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılımın en temel özelliği, programlama dilinin kod yerine grafiksel olmasıdır (Popov ve Labutin, 2011).

Günümüzde veri toplama sistemleri farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fabrikalarda otomasyona yönelik olarak süreçlerin ve ürünlerin izlenmesinde ve ilgili araçların kontrol edilmesinde de veri toplama sistemlerinden yararlanılmaktadır. Fabrikalarda kullanılan kapsamlı veri toplama uygulamaları SCADA olarak bilinmektedir. SCADA, Denetleyici Gözetim ve Veri Toplama (SCADA "Supervisory Control and Data Acquisition") sistemi olarak tanımlanmaktadır. Büyük yapılarda (köprü, baraj, gökdelen, vb.) ortaya çıkabilecek olumsuz değişimleri erkenden belirlemede ve binalarda yaşam ortamının istenilen şekilde tutulmasında kullanılmaktadır. Üretimin yapıldığı ortamların yersel değişkenliklerinin belirlenerek bitki ve hayvan isteklerine uygun olarak düzenlenmesini hedefleyen hassas tarım uygulamalarında toprak, iklim, bitki ve hayvan şartlarının belirlenmesinde de veri toplama sistemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Ulaşım sektöründe ulaşım araçlarının (motor devri, araç hızı, yakıt tüketimi, vb.), ulaşım altyapılarının mevcut durumlarının (demiryolu raylarındaki deformasyon, sinyalizasyon, vb.) izlenmesinde ve otomotiv sektöründe kaza testlerinde kullanılmaktadır. Enerji sektöründe arıza takibi, üretim ve tüketimin izlenmesinde, üretim araçlarının performanslarının değerlendirilmesinde, kayıp ve kaçakların tespitinde kullanılmaktadır.

Kurutma, tarımsal ürünlerde istenmeyen biyokimyasal reaksiyonları ve mikrobiyal faaliyetleri durdurmak veya en aza indirmek suretiyle dayanımlarını artırmak için, üründen fazla nemin uzaklaştırması işlemidir (Yağcıoğlu, 1999). Kurutma, kurutulan tarımsal ürünlerin uzun süre saklanabilmesi ve besin değerlerinin büyük ölçüde korunması gibi avantajları nedeniyle en eski fakat günümüzde de yaygın olarak kullanılan gıda saklama tekniğidir. Tarımda ve sanayinin farklı alanlarında kurutma işlemi yaygın olarak yapılmaktadır. Günümüzde 50 binin üzerinde farklı materyal ticari olarak kurutulmaktadır (Mujumdar, 2011).

Kurutma, kullanılan enerji kaynağına göre doğal ve yapay kurutma olarak iki gruba ayrılmaktadır. Doğal kurutmada ticari enerji kullanmadan ortamda bulunan ısıdan ve güneş ışığından yararlanılırken, yapay kurutmada farklı ticari enerjiler (elektrik, doğal gaz, biyokütle, vb.) kullanılmaktadır.

Yapay kurutmada çok farklı yöntemler (ısıtılmış/sıcak havalı kurutma, mikrodalga kurutma, kızıl ötesi kurutma, ozmotik kurutma, sprey kurutma, dondurarak kurutma, vb.) kullanılmaktadır. Bu amaçla, farklı makine ve donanımdan yararlanılmaktadır. Kurutucuların, ürüne ve kurutma yöntemine göre, yapı ve çalışma özellikleri açısından farklı tipleri bulunmaktadır. En yaygın kullanıma sahip olan konvektif kurutma yönteminde ürünler sıcak hava akımı yardımıyla kurutulmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

Kontrol ve algılama teknolojilerindeki gelişme kurutucu otomasyon uygulamalarının geliştirilmesini ve kullanımını mümkün kılmıştır. Bu uygulamalar sayesinde, kurutulan ürünün kalitesinin korunması, verimli enerji kullanılması ve kurumanın mümkün olduğunca hızlı olması için kurutma koşulları oluşturulmakta, izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Oluşabilecek aksaklıklar hızlı olarak tespit edilmekte ve giderilmektedir. Bu otomasyonların ilk aşaması ürünlerin fiziksel özellikleri (ürün sıcaklığı, ürün anlık nem içeriği, vb.) ve ortam şartları (hava sıcaklığı, hava bağıl nemi, vb.) ile ilgili verilerin algılayıcılar yardımıyla toplanmasıdır. İkinci aşama ise toplanan verilerle, kullanıcı tarafından istenilen şartları karşılaştırarak gerekli kurutucu araçlarının (ısıtıcı, fan vb.) kontrol edilerek istenilen şartların korunmasıdır. Kurutucu otomasyon sistemlerinde kullanılan karar destek sistemlerinin, karmaşık öğrenme süreçlerinden sonra toplanan verileri değerlendirerek en uygun şartları tespit etmesi mümkündür. Bu tip karar destek sistemine sahip kurutuculara akıllı kurutucular denilmektedir. Akıllı kurutucuların beklenen başarıları gösterebilmeleri için istenilen sayıda ve çeşitte doğru veriye sahip olmaları gerekmektedir (Su ve ark., 2015). Kurutucu otomasyonlarında bilinmesi gereken en önemli kritik verilerden birisi de ürünün anlık nem içeriğidir. Kurutma süresince ürün ağırlığını ölçerek ürün anlık nem içeriği belirlenebilir ve değişim izlenebilir (Zhang ve ark., 2013).

Günümüzde farklı sektörlerde süreç yönetimi ve ürün sınıflandırılması amacıyla ağırlık (yük veya kuvvet) ölçümleri yapılmaktadır. Örneğin; ürünlerin depolandığı silolarda, fabrikalarda yükleme boşaltma araçlarında, üretim hattındaki dozajlama ünitelerinde ve sınıflandırma ünitelerinde ağırlık ölçümleri yapılmaktadır. Ağırlık ölçümlerinde gerinim ölçerlerin (strain gage) Wheatstone köprüsü oluşturacak şekilde bağlanmasıyla yük hücreleri (load cell) oluşturulmaktadır. Yük hücrelerinin, ölçülen kuvvetin çeşidine (bası, çeki, kesme vb.) ve yapılarına (askı tipi (s tip), lama tipi, platform tipi, vb.) göre farklı tipleri bulunmaktadır. Ölçülecek ağırlıkların büyüklüğü kullanılacak olan yük hücresinin ölçüm aralığı içerisinde olmalıdır.

Kurutma süresince kurutulan ürünler nem kaybettikleri için ağırlıkları azalmaktadır. Kurutma işlemi, ürünlerin nem içeriği istenilen güvenli depolama nem içeriğine düşünceye kadar devam etmelidir. Kurutma işlemi sonunda ürünün nem içeriği istenilen güvenli nem içeriğinin üzerinde olursa ürünün güvenli depolama süresi kısaltmakta ve satımda fiyatı düşmektedir. Kurutma işlemi sonunda ürünün nem içeriği istenilen güvenli nem içeriğinin çok altında olursa kurutma süresi gerektiğinden daha fazla sürmüş olduğundan enerji maliyeti artmakta ve kurutucunun kullanılabilir kapasitesi düşmektedir. Bu durum aşırı kurutma olarak tarif edilmekte ve ürün kalitesini de olumsuz etkileyebilmektedir. Kurutma işlemi süresince ürünün anlık nem içeriğinin istenilen güvenli depolama nem içeriğine geldiği anın bilinmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, sıcak havalı raflı kabin kurutucularda kurutulan ürünlerin anlık nem içeriğinin belirlenmesi için ağırlık izleme sisteminin geliştirilmesidir. Ağırlık izleme sisteminde yük hücresi ve Labview programı kullanılmıştır. Tez içerisinde çalışma kapsamında geliştirilen, ağırlık izleme sisteminin geliştirilmesi ve deneme süreçleri ayrıntılı açıklanmıştır. Sistemin performansı belirlenmiş ve daha fazla geliştirilmesi gereken yönleri tartışılmıştır.

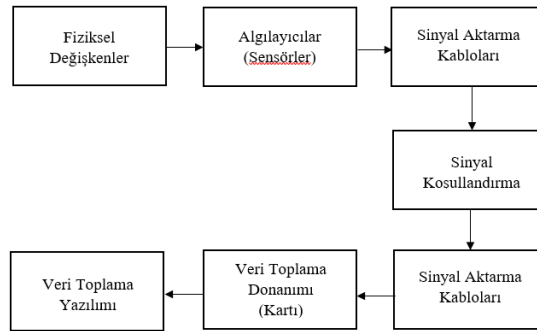
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Veri toplama sistemleri, bilim insanları ve mühendisler tarafından laboratuvar ve saha araştırmalarında kullanılan temel araçlardır. Veri toplama sistemlerinin başlangıç ve en önemli basamağı, üzerinde ölçüm yapılan ilgili fiziksel değişkenin büyüklüğünü güvenilir bir şekilde belirlemektir. Bu nedenle, kullanılacak olan ölçüm aleti veya cihazının doğruluğu (veya hata payı), hassasiyeti, ölçüm aralığı, kararlılığı, çıktı verme biçimi ve ortam şartlarına uygunluğu (sıcaklık, nem, toz vb.) gibi teknik özelliklerinin doğru seçilmesi gerekmektedir (Anonim, 2001; Emilio, 2013).

Veri toplama sistemleri veya araçları teknolojinin gelişimiyle birlikte büyük değişim göstermiştir. Az sayıda verinin gerekli olduğu durumlarda manuel olarak kullanılan basit ölçüm aletlerinin kullanımı yeterli olabilmektedir. Verilerin uzun süreli ve çok sık aralıklarla toplanması gerektiğinde, basit ölçüm aletleri yeterli olmamaktadır. Bu durumlara ise insan müdahalesi olmadan kararlı bir şekilde çalışabilen veri toplama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sanayide ve araştırmalarda kullanılan bilgisayar tabanlı bir veri toplama sisteminin ana elamanları aşağıda sıralanmıştır:

- Algılayıcı
- Sinyal Koşullandırıcı
- Veri Toplama Donanımı (Kartı)
- Veri Toplama Yazılımı
- Bilgisayar (Sistem Yazılımıyla)

Bilgisayar tabanlı veri toplama sisteminin en basit akış şeması şekil 2.1.'de görölmektedir.



Şekil 2.1. Bilgisayar tabanlı veri toplama sisteminin fonksiyonel diyagramı

Algılayıcılar sıcaklık, basınç, ağırlık, hız veya konum gibi fiziksel değişkenleri hissederek elektriksel sinyal üretirler ve sinyal koşullandırıcı cihaza aktarırlar. Veri toplama sisteminin ilk işlemi sinyal koşullandırmadır. Algılayıcılardan gelen elektriksel sinyallere kazanç uygulamak için sinyal yükselticiler kullanılır. Algılayıcılar tarafından elde edilen sinyaller genellikle gürültülü sinyaller olduğu için çeşitli filtreler kullanılarak sinyaller gürültülerden temizlenir. Sinyal koşullandırma işlemlerinden sonra veri toplama kartları kullanılarak sinyaller dijital forma dönüştürülür ve seçilen örnekleme sıklığında dijital veriyi bilgisayara aktarırlar. Günümüzde birçok özelliğe sahip çeşitli veri toplama kartları kullanılmaktadır. Veri kartlarından dijital verinin alınması, saklanması, izlenmesi ve işlenmesinde veri toplama yazılımları kullanılmaktadır. Günümüzde veri toplama yazılımları, paket programlar şeklinde satın alınabileceği gibi, uygulamaya özel olarak temel programlama dilleri kullanılarak (Örneğin C dili) veya kapsamlı hazır programlar kullanılarak geliştirilebilmektedir. Günümüzde C, C++ veya Java gibi geleneksel programlama dillerinden farklı olarak bilinen G (grafiksel) programlama diline sahip Labview veri toplama yazılımı olarak kullanılmaktadır. Bu yazılım kullanıcılar için tasarlanmış, interaktif bir program geliştirme ve uygulama sistemidir. Labview, çeşitli mikrodenetleyiciler ve veri toplama kartları ile uyumlu olarak çalışabilmektedir (Mavi, 2012).

Kurutma işlemi, çok sayıda değişkenin (kurutulan ürünün nem içeriği, kurutma yöntemi, çevre koşulları, ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı, ürün miktarı, vb.) etkin olduğu ve birçok fiziksel olayın (kurutma enerjisinin ürüne aktarılması, ürün içerisindeki nemin hareketi, üründen çıkan nemin uzaklaştırılması, üründe meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel değişimler, vb.) eş zamanlı gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir. Başarılı bir kurutma işleminde en az enerji tüketimi ve yüksek ürün kalitesiyle en kısa sürede kurutmanın tamamlanması gerekmektedir. Başarılı bir kurutma işlemi için mümkün olduğunca bütün değişkenlerin kurutma sürecince izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

Kurutulan ürünlerin kalitesini belirleyen koku, tat ve görünüm gibi parametrelerin izlenmesi algılayıcılar geliştirilmiştir. İnsan burnu ve dili gibi ürünün kokusuna veya tadına etki eden kimyasal bileşiklere hassas biyomimetik sistemler olan algılayıcılara elektronik burun denilmektedir (Su ve ark., 2015).

Örneğin; bir çalışmada, mikrodalga fırında kurutma sırasında havuçtan yayılan uçucu bileşenlerin tespitinde hassas elektronik burun (zNoseTM) kullanılmıştır. Elektronik burundan gelen veriler, Labview programında hazırlanan bulanık mantığa dayalı bir kontrol yazılımı kullanılarak, kurutma boyunca havuç kalitesi en üst düzeyde tutulmaya çalışılmıştır. Kullanılan kontrol yöntemiyle havuca aroma veren uçucu kimyasalların havuç içerisinde daha fazla tutulması sağlanırken kuruma süresi ve enerji tüketimi azaltılmıştır. Kurutma denemelerinde 80°C, 70°C, 60°C ve 50°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Kurutma sıcaklığı 80°C'nin üzerine çıktığında üründe kömürleşme görülmüş, 50°C'den daha düşük bir kurutma sıcaklığı uygulandığında ise uzun kuruma süresinden dolayı ürün kalitesinde azalma olmuştur. 80°C, 70°C, 60°C ve 50°C kurutma sıcaklıklarında gerekli kuruma süreleri sırasıyla yaklaşık 150, 210, 310 ve 400 dakika olarak belirlenmiştir (Li ve ark., 2010).

Kurutma işleminde ürünlerin boyut, şekil ve renk gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve izlenmesi için bilgisayar destekli görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır (Su ve ark., 2015). Bir çalışmada gerçek zamanlı bilgisayarlı görüntüleme sistemiyle donatılmış sıcak havalı kurutucuda kurutma süresi boyunca elma dilimlerinin renk değişimleri izlenmiş ve renk değişimine kurutma değişkenlerinin etkisi belirlenmiştir. Kurutma sırasında ürün kalitesinin gerçek zamanlı olarak tahmin edilmesi için yapay sinir ağı ile desteklenen bilgisayarlı görüntüleme sistemi kullanılması, diğer çevrimdışı yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür (Nadian ve ark., 2015).

Yakın kızılötesi yansıma (NIR) spektroskopisi, kurutulan materyallerin su aktivitesi, nem ve yağ içeriği gibi parametrelerin belirlenerek ürün kalitesinin çevrimiçi olarak izlenmesi ve kontrolü için kullanılmaktadır (Su ve ark., 2015). Örneğin, patates cipsi kalite kontrolünde en önemli parametrelerinden olan kuru madde, yağ ve akrilamid içeriklerinin hızlı ve tahribatsız analizine izin veren çevrimiçi NIR spektroskopisi sistemi kullanılmıştır. Kuru madde ve yağ için öngörülen değerler ile referans değerler arasındaki karşılık gelen korelasyonlar 0.97 ve 0.99 iken, akrilamid için 0.83 bulunmuştur. Akrilamid tahmininde hata daha yüksek olduğu için, kullanılan sistemin tahminden daha çok sınıflandırmada faydalı olacağı belirtilmiştir (Pedreschi ve ark., 2010).

Tarımsal ürünlerin ve gıda maddelerinin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan sıcak havalı (konvektif) kurutucularda kurutma havası sıcaklığı, izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken en önemli değişkendir. Kurutma havasının sıcaklığı yanında bağıl nem değeri ve ürün üzerinden geçen hava hızının da bilinmesi gerekmektedir. Günümüzdeki kurutucularda kurutma havası sıcaklığı istenilen bir değerde sabit tutulmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasına yönelik yapılan bazı çalışmalarda, hava sıcaklığının sabit tutulması yerine, kuruma süresince değişkenlik göstermesinin kurumanın daha başarılı sonuçlanmasına katkı yaptığı belirlenmiştir (Ertuğrul ve Tarhan, 2017). Kurutucu çıkışında ölçülen kurutma havası bağıl nem değerleri esas alınarak kurutma havası debisinin değiştirilmesi veya kurutucudan çıkan nemli kurutma havasının ısıtılarak tekrar kullanılması kurutma işleminde enerji tüketimini azaltmıştır (Gül, 2017). Kurutma işleminde eşzamanlı olarak meydana gelen farklı fiziksel ve kimyasal olayların istenilen şekilde devam etmeleri kurutma işleminin başarıyla tamamlanması için gereklidir. Bu olaylarla ilgili değişkenlerin kurutma süresince aldığı değerlerin belirlenmesi ve bu değişkenler arasındaki ilişkilerin farklı yapay zeka modelleriyle ortaya konulması çok önemlidir. Kurutma sürecine ait değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlayan yapay zeka modelleri, kurutma işleminin ilerleyişine yönelik tahminler yapılmasına ve gerekli kontrol işlemlerinin zamanında gerçekleştirilmesine imkan vermektedir. Veri toplama sistemlerin karmaşık modellerle birlikte kullanıldığı bu uygulamalara “akıllı kurutma teknolojileri” denilmektedir. Akıllı kurutma teknolojilerinin kullanımı, ürün kalitesini korumanın yanı sıra enerji tüketimini ve olumsuz çevresel etkileri azaltmak için önemli fırsatlar sunmaktadır (Su ve ark., 2015). Akıllı kurutma teknolojileri kullanılarak kurutma ortamı izlenebilmekte ve kuruma sırasında ürün kalitesinin korunması için istenilen çalışma parametreleri de ayarlanabilmektedir. Bir çalışmada, güneş enerjili bir kurutucunun içindeki havanın psikrometrik özellikleri algılayıcılar yardımıyla izlenerek gerekli kurutma ortamı korunmaya çalışılmıştır (Correa-Hernando ve ark., 2010).

Tarımsal ürünler ve gıda maddelerinin besin değerlerinin kaybolmaması ve daha uzun saklanabilmeleri için güvenli depolama nem içeriğinde olmaları gerekmektedir. Güvenli depolanma nem içeriğinden daha yüksek neme sahip ürünlerde mikrobiyolojik ve biyokimyasal bozuşma reaksiyonları başlamaktadır. Bu durum, ürünlerin ticari ve beslenme değerlerinin azalmasına veya tamamen kaybolmasına neden olmaktadır. Kurutmanın istenilen son nem içeriğinde (güvenli depolama nem içeriği) tamamlanması için kurutma süresince ürün nem içeriğinin izlenmesi gerekmektedir. Günümüzde bazı taneli tarımsal ürünler için kurutuculara takılan nem içeriği algılayıcıları veya portatif nem içeriği ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar, genelde ürünlerin nem içeriğine göre dielektriksel özelliklerdeki değişimleri esas alarak çalışmaktadırlar (Ahmed ve ark., 2015).

Taneli ürünler dışındaki tarımsal materyallerin anlık nem içeriğinin belirlenmesinde ağırlık ölçümleri kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, geliştirilen fotovoltaik (PV) sistemle desteklenmiş kapalı tip bir güneşli kurutucuda limon dilimleri kurutulmuştur. Kuruma süresince ağırlık değişimi, sisteme yerleştirilen 0-100 kg kapasiteli yük hücresi yardımıyla belirlenmiştir. Yük hücresinden elde edilen veriler Labview yazılımı kullanılarak işlenmiş ve ürünlerdeki nem değişimi izlenmiştir (Chen ve ark., 2005).

Isı pompalı bir kurutucuda kavak ve çam kerestelerinin kurutulmasında ağırlık verileri bir yük hücresi kullanılarak ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Bu veriler kurutma sürelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Ceylan ve ark., 2007). Dondurularak kurutma işleminde elmaların nem içeriği, nem oranı ve kuruma hızı gibi kurutma davranışlarını belirlemek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Elmaların ağırlık kaybı, kurutma odasının ortasına yerleştirilen bir yük hücresi tarafından izlenmiştir. Ağırlık kaybını sürekli kaydetmek için veri toplama yazılımı aracılığıyla yük hücresi çıkış sinyalleri bir sinyal dönüştürücüye, daha sonra bir veri kaydediciye bağlanmış ve bir bilgisayara aktarılmıştır (Menlik ve ark., 2010).

Vakumlu kurutma yöntemiyle kereste kurutma üzerine yapılan çalışmada, ağırlık değişimini izlemek için, programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) sisteminde bir yazılım geliştirilmiştir. Kerestelerin kuruma süresince ağırlık değişimleri 0-20 kg ölçüm aralığına sahip s-tipi bir yük hücresi ile takip edilmiştir (Dikmen ve ark., 2012). Kanada'da yapılan bir araştırmada atık su çamurunun mikrodalga fırınında kurutulması sırasında ağırlık değişimi sisteme yerleştirilen bir yük hücresi ile izlenmiş ve bilgisayara aktarılmıştır (Bennamoun ve ark., 2016). Isparta yöresinde yetiştirilen fesleğen, biberiye, dereotu ve maydanoz gibi tıbbi bitkilerinin kurutma parametrelerinin araştırılmasında kullanılan hava kaynaklı ısı pompası destekli bir vakum kurutma fırınına yerleştirilen s-tipi bir yük hücresi ile materyallerin kurutma işlemindeki ağırlık kayıpları veri kaydetme özellikli PLC kontrollü otomasyon sistemi ile takip edilmiştir (Ayaz ve ark., 2016).

Sera tipi bir güneşli kurutucuya yerleştirilen kablosuz tartım sistemiyle mango yan ürünlerinin ağırlık değişimleri izlenmiştir. Ağırlık değişimi verileri kullanılarak mango yan ürünlerinin kurutma kinetiği ve nem içeriği modellenmesi yapılmıştır. Kablosuz tartım sisteminde 10 kg kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici olarak, bozulma veya internet arızası durumunda veri kayıt özelliğine sahip Raspberry Pi 2 kullanılmıştır. Raspberry Pi 2 aynı zamanda sanal bir sunucuya gerçek zamanlı veri akışı sağlayan ve onları Shiny veri portalı kullanarak dünyanın herhangi bir yerinde kullanılabilmesini sağlayan bir yazılımdır. Bu sistem, içerisindeki yüksek sıcaklık nedeniyle, rahat çalışma koşullarına sahip olmayan sera tipi kurutucularda ürünlerin nem değişiminin izlenmesini kolaylaştırmıştır (Querikiol ve Taboada, 2018).

Kabin tipi konvektif kurutucuda yapılan bir çalışmada, ıspanak kurutulmuştur. Kurutma deneyleri, 1.2 m/s sabit hava hızı ve 50, 60, 70 ve 80°C'lik dört kurutma havası sıcaklığında yapılmıştır. Elde edilen deneysel kurutma verileri, nem oranı modellerine uygulanmıştır. Kurutma havası sıcaklığındaki artışın kurutma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir (Doymaz, 2007).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sıcak Havalı Kurutucu ve Veri Toplama Sistemi

Bu çalışmada tarımsal ürünlerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan sıcak havalı rafli kabin tipi kurutucu kullanılmıştır. Kurutma denemelerinde kurutucuya giren sıcak havanın sıcaklığı/bağıl nemi, kurutucudan çıkan nemli kurutma havasının sıcaklığı/bağıl nemi ve kuruyan ürünün ağırlığı sürekli ölçülerek bilgisayara aktarılmasını sağlayan bir veri toplama sistemi oluşturulmuş ve kurutucuya yerleştirilmiştir. Kurutucunun parçaları ve veri toplama sisteminin elemanları Şekil 3.1. de gösterilmiştir.



1. Kurutma kabini, 2. Taşınabilir Kurutma Rafı, 3. Kurutucu Tepsileri, 4. Elektrikli Isıtıcı ve Fan Sistemi, 5. Kontrol Panosu, 6. Yük Hücresi (Loadcell), 7. Sıcaklık ve Bağıl Nem Algılayıcıları, 8. PT-100 Sıcaklık Algılayıcısı, 9. 24V DC Güç Kaynağı, 10. Veri Toplama Kartı (NI USB-6000 DAQ), 11. Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçüm Cihazı (Trotec T210), 12. Bilgisayar (Labview Yazılımı), 13. Güç Analizörü

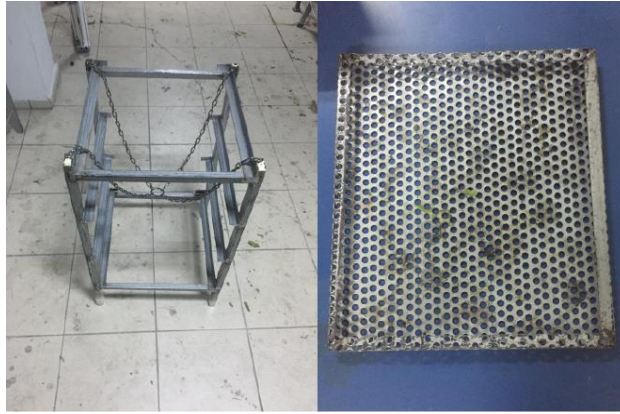
Şekil 3.1. Sıcak havalı kabin kurutucunun ve veri toplama sisteminin üç boyutlu gösterimi

Kurutma kabini, içerisine kurutma rafının ve kurutma tepsilerinin yerleştirildiği bölümdür. Kurutma kabini iç genişliği 60 cm, derinliği 60 cm ve boyu 180 cm'dir. Kabinin alt kısmında sıcak hava girişinin ve üst kısmında nemli kurutma havasının çıkışının sağlandığı 30 cm çapında hava kanalları bulunmaktadır. Kurutucu kabin kapısı, kurutma süresince sızdırmaz şekilde kapatılmakta, sadece ürün yükleme ve boşaltma süresince açılmaktadır. Kurutma kabini, elektrikli ısıtıcı ve fan sistemi, ısı kayıplarına karşı, 3 cm cam yünü ile yalıtılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Kurutma kabini

Taşınabilir kurutma rafı, kurutma tepsilerinin yerleştirildiği dört raftan oluşmuştur. Rafların iskeleti 20 mm alüminyum kare profilden imal edilmiştir. Kurutucu raflarına tepsiler yerleştirilmektedir. Kurutucu tepsileri 10 mm çapındaki deliklere sahip 3 mm kalınlığındaki saçtan yapılmış olup, 41 cm x 41 cm boyutlarındadır. Raflar arası mesafe 15 cm'dir. Taşınabilir kurutma rafı ve kurutma tepsileri Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Taşınabilir kurutma rafı ve tepsileri

Kabinin alt kısmına yerleştirilen bir ısıtıcı-fan ünitesi ile ortamdan alınan hava, istenilen sıcaklığa kadar ısıtılarak kurutucu kabinine gönderilmektedir. Isıtıcı-fan ünitesinin çapı 30 cm'dir. Isıtıcı, 8 kW maksimum ısıtma gücüne sahiptir. Fan debisi 1700 m³/saat olup, 380 V AC akım ile çalışmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Elektrikli ısıtıcı ve fan sistemi

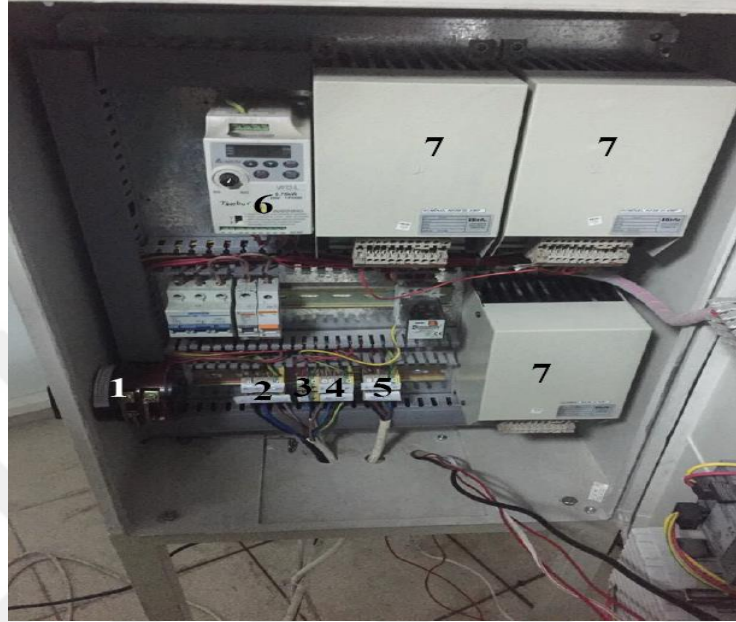
Kontrol panosu kapağının dış kısmında iki adet sıcaklık ve bağıl nem algılayıcı dijital göstergesi, bir adet dijital göstergeli yük hücresi sinyal dönüştürücüsü, fan motoru devrinin ayarlanabilmesi için bir adet dijital potansiyometre ile kurutma havası sıcaklığını istenilen değerde sabit olarak tutmak için bir adet PID kontrol ünitesi (Elimko E-210) bulunmaktadır (Şekil 3.5.).



1. Hava Sıcaklığı ve Bağıl Nem Dijital Göstergeleri 2. Yük Hücresi Sinyal Dönüştürücüsü ve Göstergesi 3. Dijital Potansiyometre 4. PID Kontrol Ünitesi (Elimko E-210)

Şekil 3.5. Kontrol panosu kapağı dış yüzü

Kontrol panosunun iç kısmında fan motoru invertörü, kabin içi sıcaklığının sabit olarak tutulması için tristörler ve bağlantı kabloları bulunmaktadır. Kontrol panosunun iç kısmı Şekil 3.6.'da görülmektedir.



1. Kontrol Panosu Çevirmeli Anahtar 2. Güç Kablosu Bağlantı Klemensi 3. PT-100 Sıcaklık Algılayıcısı Bağlantı Klemensi 4. Elektrik Motoru (Fan) Bağlantı Klemensi 5. Elektrikli Isıtıcı (Rezistans) Bağlantı Klemensi 6. Fan Motoru İnvörtörü 7. Sıcaklık Kontrol Ünitesi Tristörleri

Şekil 3.6. Kontrol panosu içi

Kurutma kabini girişinde ve çıkışında kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemini izlemek amacıyla algılayıcılar (Gentek HT-2) Şekil 3.7.'de gösterildiği şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Sıcaklık ve bağıl nem algılayıcıları ve dijital göstergeleri

Kurutma havasının giriş sıcaklığını istenilen değerde sabit tutabilmek için, kabinin alt kısmında sıcak hava girişi kanalına yerleştirilen PT-100 sıcaklık algılayıcısı tarafından sıcaklık değeri PID kontrol ünitesine gönderilmektedir (Şekil 3.8.).



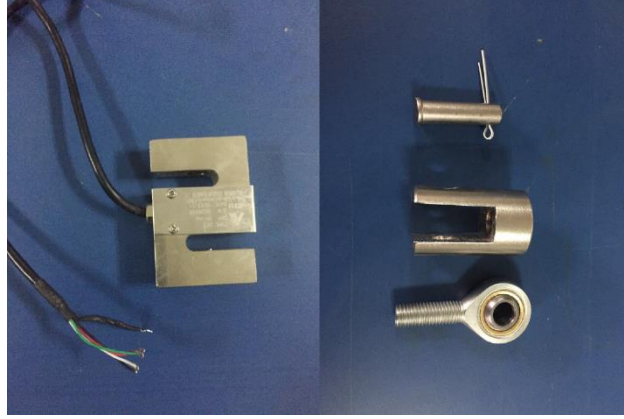
Şekil 3.8. PT-100 sıcaklık algılayıcısı

HT-2 sıcaklık ve bağıl nem algılayıcılarında güç kaynağı olarak 24 V DC besleme ünitesi (Polaxtor Power Supply) kullanılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. 24 V DC güç kaynağı

Kurutulan ürünün kuruma sırasında periyodik olarak ağırlığını ölçmek için 50 kg kapasiteye sahip s-tipi yük hücresi (KELI DEE50) kullanılmıştır. S-tipi yük hücresi kesme kuvveti prensibi ile basma ve çekme yönünde çalışan kuvvet ve ağırlık ölçüm uygulamaları için geliştirilmiştir. Yük hücresi ve titreşim sönümlenme montaj kiti Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Yük hücresi ve titreşim sönümlenme montaj kiti

Yük hücresinden gelen sinyallerin gerekli sinyal koşullandırma işlemlerinden geçmesi için sinyal filtreleme özellikleri bulunan ve 16 bit çözünürlüğe sahip ve göstergeli sinyal dönüştürücü (PD30, Puls Elektronik, Türkiye) kullanılmıştır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Yük hücresi için göstergeli sinyal dönüştürücü

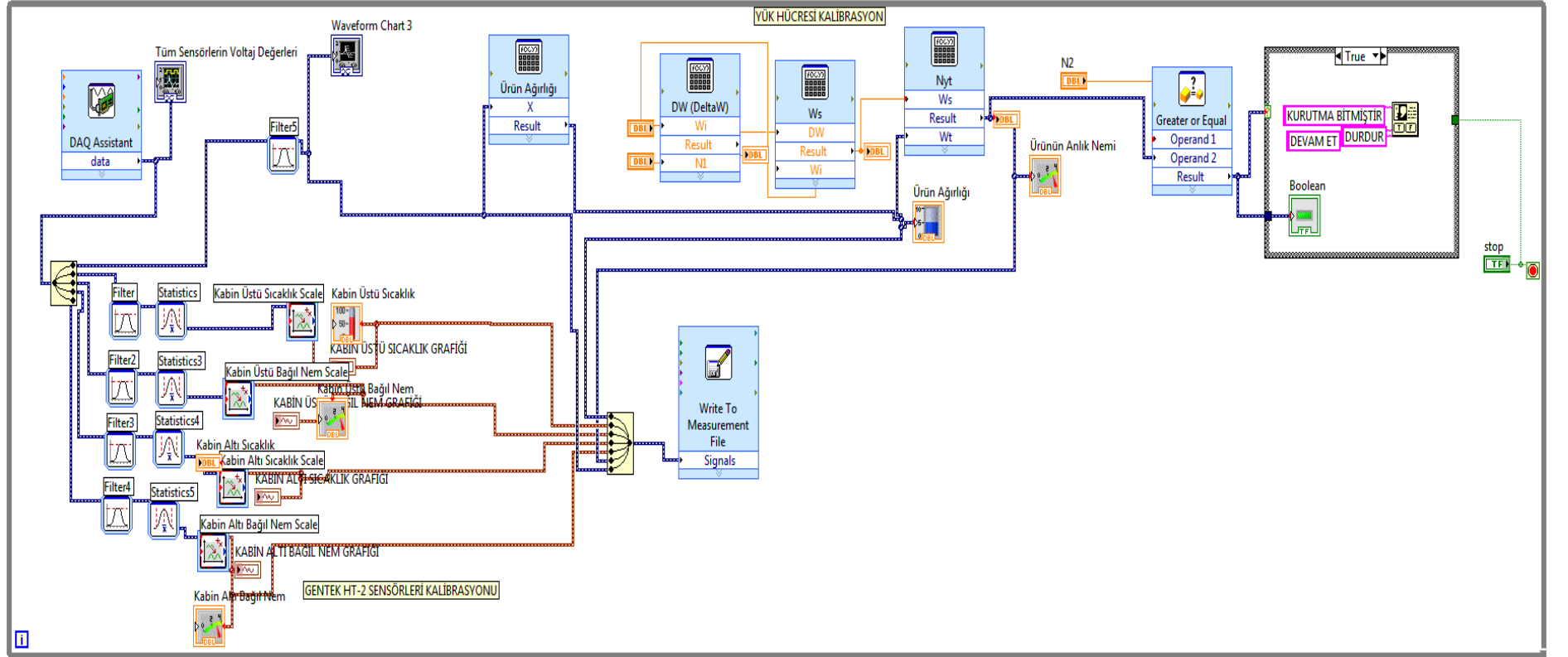
Veri toplama kartları, algılayıcılardan gelen sinyallerin bilgisayara aktarılmasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada National Instruments firmasına ait NI USB-6000 veri toplama kartı, kurutma kabinin giriş ve çıkışında ölçülen kurutma havası sıcaklık ve bağıl nem verilerini ve yük hücresinden gelen ağırlık verilerini bilgisayara aktarmak için kullanılmıştır. Kullanılan veri toplama kartı sekiz adet analog giriş (AI), dört adet dijital giriş/çıkış (DIO) kanalına sahip ve 32 bit çözünürlüktedir. Bilgisayar bağlantısı USB giriş desteği ile sağlanmaktadır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Veri toplama kartı (NI USB-6000)

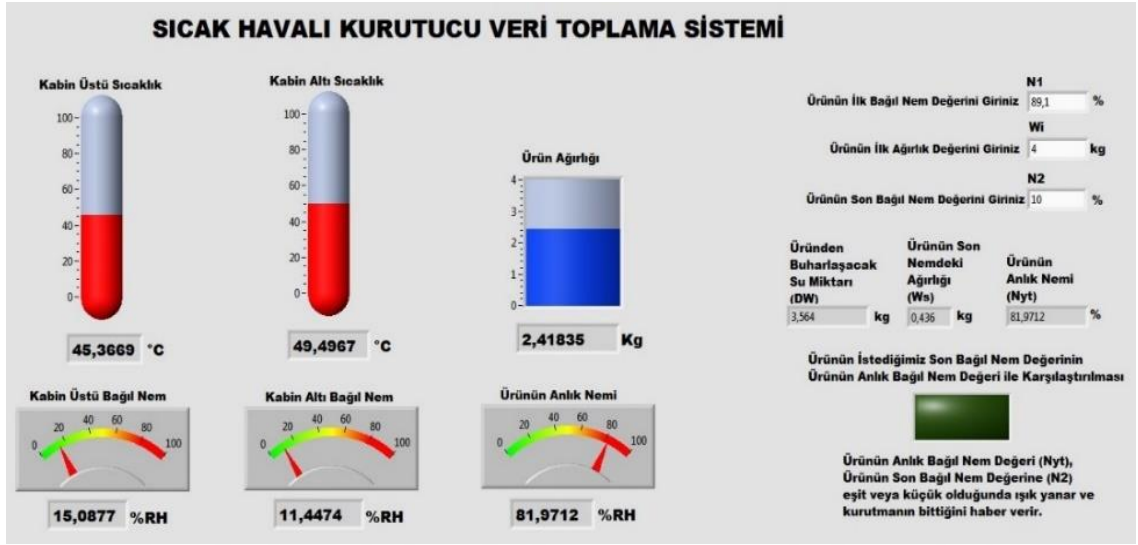
Algılayıcılardan gelen verilerin izlenmesi ve kaydedilmesi için Labview (2012 versiyonu) programında “Kurutma Süreci İzleme Uygulaması (KSİU)” geliştirilmiştir.

Yük hücresinden gelen sinyallerin gürültüden temizlenmesi için alçak geçiren Butterworth tasarımı bir dijital filtre kullanılmıştır. Yük hücresinden gelen ağırlık verileri kullanılarak yaş baza göre anlık ürün nem içeriğinin hesaplanması için gerekli eşitlikler geliştirilen uygulamanın içinde tanımlanmıştır. KSİU, hesaplanan anlık nem içeriği istenilen son nem içeriğine geldiğinde uyarı da vermektedir. KSİU'nun blok diyagramı Şekil 3.13'de verilmiştir. Bilgisayara gelen veriler Excel formatında depolanmıştır.



Şekil 3.13. Kurutma süreci izleme uygulamasında blok diyagramı penceresi

KSIÜ'nün izleme penceresinde, kurutma havasının sıcaklığı/bağıl nemi, kurutulan materyalin ağırlığı ve anlık nem içeriklerinin gerçek zamanlı takip edilmesi için göstergeler bulunmaktadır. Ayrıca ürünün ilk ağırlığı, ilk nem içeriği ve belirlenen ürün son nem içeriği değerlerinin girilmesi için giriş kutucukları bulunmaktadır (Şekil 3.14.). KSIÜ'nun her bir algılayıcıdan gelen sinyallerden örnekleme sıklığı (frekansı) saniyede 1 okuma olarak seçilmiştir.



Şekil 3.14. Kurutma süreci izleme uygulaması takip penceresi

Labview ortamında bulunan “formula node” özelliği kullanılarak, üründen buharlaşacak su miktarı, ürünün son nemdeki ağırlığı ve ürünün anlık nem değerlerinin bulunması için aşağıda verilen eşitlikler hazırlanan program içinde tanımlanmıştır;

$$\Delta W = W_i \frac{N_{yb} - N_s}{100 - N_s} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

ΔW : Üründen buharlaşacak su miktarı

W_i : İlk ürün ağırlığı

N_{yb} : Ürün ilk nem içeriği (% , yb)

N_s : Ürün son nem içeriği (% , yb)

$$W_s = W_i - \Delta W \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

W_s : Ürünün son nem içeriğindeki ağırlığı

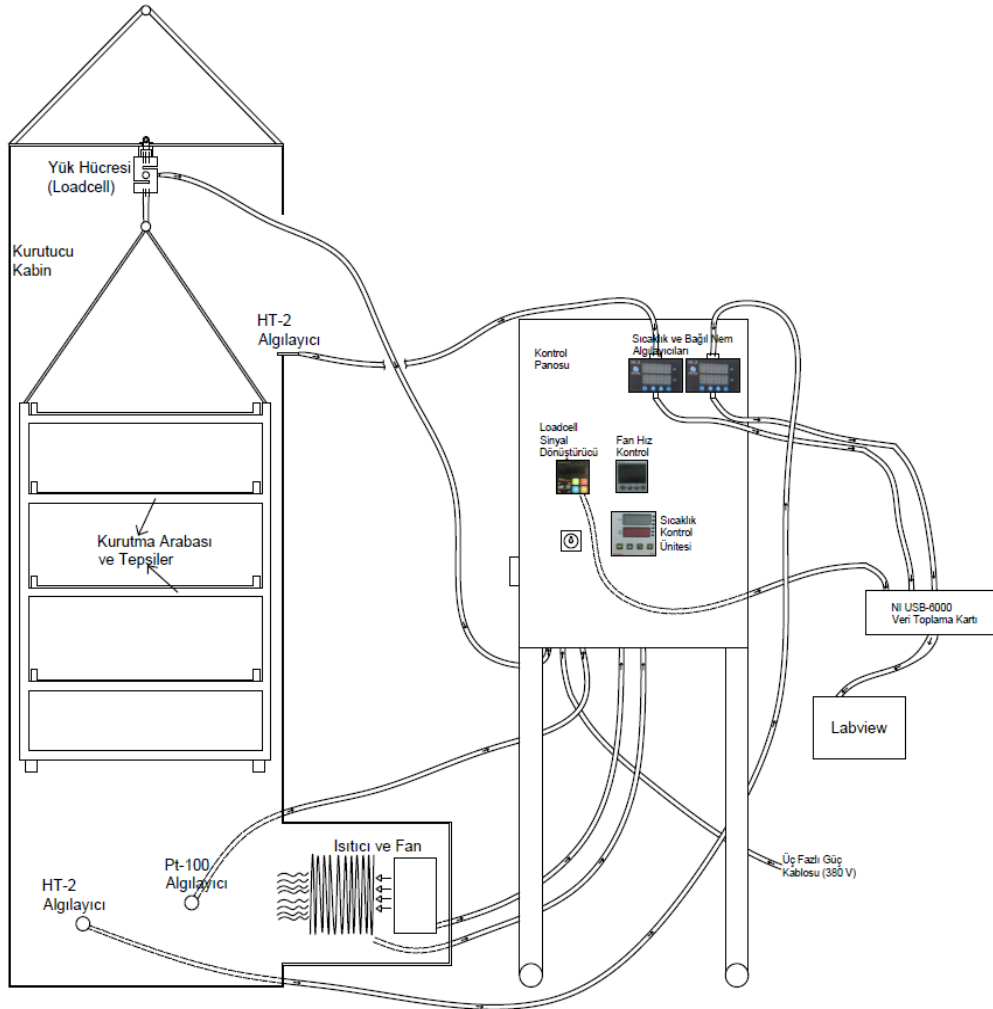
$$N_{yt} = \frac{W_t - W_s}{W_t} \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

N_{yt} : Ürünün t zamandaki nem içeriği (% , yb)

W_t : Ürünün t zamandaki ölçülen ağırlığı

Sıcak havalı raflı kabin tipi kurutucuya kurulan veri toplama sisteminin bağlantı şeması Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Veri toplama sistemi bağlantı şeması

3.2. Kurutma Denemeleri

Yapılan ön denemelerle veri toplama sisteminin sorunsuz çalıştığı belirlendikten sonra iki grup şeklinde altı adet kurutma denemesi yapılmıştır.

Birinci grup denemelerde kurutma rafının ve yük hücresinin olası titreşim hareketini sönümlenmeye yarayan titreşim sönümlenme montaj kiti olmadan yük hücresi doğrudan kurutucu tavanına monte edilmiştir (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Titreşim sönümlenme montaj kiti olmadan yük hücresinin montajı

İkinci grup kurutma denemelerinde ise yük hücresi titreşim sönümlenme montaj kiti ile kurutucu kabinin tavanına sabitlenmiştir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Titreşim sönümlenme montaj kiti kullanılarak yük hücresinin montajı

Kurutma denemelerinde kullanılan ıspanaklar Tokat sebze halinden temin edilmiştir. Denemelerde kullanılan ıspanakların ilk nem içeriklerini belirlemek için alınan örnekler etüvde 105 °C sıcaklıkta 4 saat kurutulmuştur (Ozkan ve ark., 2007).

Bütün kurutma denemelerinde yaklaşık 21 (± 1.0) cm uzunluğundaki taze ıspanaklar 3 ya da 4 parça olacak şekilde kıyılmıştır. Her bir kurutma tepsisine 1 kg kıyılmış ıspanak yerleştirilmiştir (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Kurutma denemelerinde kullanılan taze ıspanak örneklerinin hazırlanması

Her bir kurutma denemesinde 4 kg kıyılmış ıspanak kullanılmıştır. Ispanakların tartımında 1 g hassasiyetinde terazi (Arnica Balanza 4150) kullanılmıştır (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Hassas terazide ıspanak tartım

İki grup şeklinde yapılan kurutma denemelerine ait bilgiler sırasıyla şöyledir;

3.2.1. Birinci grup kurutma denemeleri

Birinci grupta dört kurutma denemesi yapılmıştır. Bu denemelerde yük hücresi, titreşim söndürme montaj kiti olmadan, kurutucu tavanına monte edilmiştir. Bu denemeler kapsamında kuruyan ıspanakların belirli aralıklarla kurutucudan çıkarılarak tartımlarının yapılmasının kurutma sürecinin uzunluğuna ve ürün nem kaybına olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

1. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 50°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %40'ına ayarlanmıştır. Kurutucu kapısı, ıspanaklar kurutucuya yerleştirildikten hemen sonra kapatılarak ürünün ağırlığı yük hücresi üzerinden takip edilmiştir.

2. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 50°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %40'ına ayarlanmıştır. Kurutucu kapısı, ıspanaklar kurutucuya yerleştirildikten hemen sonra kapatılarak ürünün ağırlığı yük hücresi üzerinden takip edilmiştir. Ayrıca, her dört saatte bir kurutucu kapısı açılmış ve kurutma tepsileri kurutma rafından alınarak tartılmıştır.

3. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 60°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %20'sine ayarlanmıştır. Diğer işlemler birinci denemenin aynısıdır.

4. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 50°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %40'ına ayarlanmıştır. Kurutucu kapısı, ıspanaklar kurutucuya yerleştirildikten hemen sonra kapatılarak ürünün ağırlığı yük hücresi üzerinden takip edilmiştir. Ayrıca, her dört saatte bir kurutucu kapısı açılmış ve kurutma tepsileri kurutma rafından alınarak tartılmıştır. Kurutma tepsilerindeki ıspanakların daha homojen kurumaları için her bir tartım sonrasında kurutma tepsileri raflara yerleştirilirken en üstteki tepsi en alt rafa ve diğer tepsiler de bir üst rafa yerleştirilmiştir. Ayrıca her tartım zamanında tepsilerdeki ıspanaklar karıştırılmıştır.

3.2.2. İkinci grup kurutma denemeleri

İkinci grupta iki kurutma denemesi yapılmıştır. Bu denemelerde yük hücresi titreşim sönümlenme montaj kiti kullanılarak kurutucu tavanına monte edilmiştir. Bu denemeler kapsamında titreşim sönümlenme montaj kitinin kuruyan ıspanakların anlık ağırlık değerleri ve dolayısıyla anlık nem içeriği değerlerindeki dalgalanmaları (titreşimleri) azaltma etkinliği belirlenmeye çalışılmıştır.

5. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 60°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %20'sine ayarlanmıştır. Kurutucu kapısı, ıspanaklar kurutucuya yerleştirildikten hemen sonra kapatılarak ürünün ağırlığı yük hücresi üzerinden takip edilmiştir. KSIU'nun hesapladığı değer, girilen son nem değeri olan %10 (yb)'a ulaştığında program uyarı vermiş ve kurutma denemesi sonlandırılmıştır.

6. Kurutma Denemesi: PID sıcaklık kontrol ünitesinde kurutma havası sıcaklığı 50°C'ye ve potansiyometrede ise fan motor devri, maksimum motor devrinin %40'ına ayarlanmıştır. Diğer işlemler beşinci denemeyle aynıdır.

Bütün kurutma denemelerinde, deneme sonlandırıldıktan sonra kurutucu kapısı açılmış ve kurutulan ıspanakların son ağırlığı kıyaslama amacıyla hassas terazide tartılmıştır.

Kurutma süresi boyunca ortam havasının sıcaklık ve bağıl nem değerleri iki saatte bir Trotec T-210 taşınabilir sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve kurutma takip çizelgelerine yazılmıştır (Şekil 3.20.).

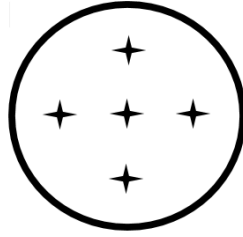


Şekil 3.20. Hava sıcaklığı ve bağıl nemi ölçme cihazı (Trotec T-210)

Kurutma denemelerinin başlangıcında ve bitiminde kurutma kabini giriş ve çıkışındaki hava akış hızları beş farklı noktadan dijital göstergeli anemometreyle (Prova AVM-07) ölçülerek ortalama hava akış hızları bulunmuştur (Şekil 3.21.). Ölçüm noktaları Şekil 3.22' de verilmiştir.



Şekil 3.21. Anemometre (Prova AVM-07)



Şekil 3.22. Hava hızı ölçüm noktaları

Kurutucuya hava giriş kısmı kurutucu kabinin içinde kaldığından giriş hava hızı ancak kurutucu kapağı açıkken ölçülebilmektedir. Kurutucu çıkışında ise hava hızı kurutucu kapağı kapatıldıktan sonra ölçülmüştür.

Kurutma denemeleri boyunca kurutucu sistemin harcadığı enerji değerleri üç fazlı güç analizörüyle (MPR63 Network Analyser) kWh biriminde ölçülmüştür (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Güç analizörü

Sıcak havalı kurutucuyla yapılan kurutma denemelerinde kullanılan ölçüm cihazları, algılayıcıların ve veri toplama donanımlarının teknik özellikleri Ek-1’de verilmiştir. Ayrıca kullanılan algılayıcıların veri toplama kartına bağlantı şeması EK-2’de verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma kapsamında yapılan altı adet kurutma denemelerine ait ilk ıspanak ağırlıkları, deneme başlangıç günleri ve saatleri, kurutma bitiminde kalan son ıspanak ağırlıkları, kurutma süreleri ve ıspanakların son nem içerikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Denemelerde kullanılan ıspanakların ilk nem içerikleri % 89.10 (± 1.10) bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Kurutma denemelerine ait bilgiler

Deneme No.	Ispanağın İlk Ağırlığı	Deneme Başlama Günü ve Saati	Ispanağın Son Ağırlığı	Kurutma Süresi	Ürünün Son Nem İçeriği
1	4 kg	26/04/2019 - 07:30	0.578 kg	17 saat 29 dakika	%24.57
2	4 kg	27/04/2019 - 08:30	0.531 kg	19 saat 25 dakika	%17.89
3	4 kg	28/04/2019 - 05:30	0.488 kg	13 saat 41 dakika	%10.65
4	4 kg	29/04/2019 - 07:45	0.479 kg	17 saat 25 dakika	%08.98
5	4 kg	01/05/2019 - 06:45	0.521 kg	16 saat 4 dakika	%16.31
6	4 kg	01/05/2019 - 23:45	0.543 kg	20 saat 33 dakika	%19.70
Deneme No.	Açıklamalar				
1	Kurutma süresince kurutma kabini kapısı kapalı tutulmuştur. Kurutma sıcaklığı 50°C'ye ayarlanmıştır.				
2	Dört saatlik aralıklarla kurutma kabini kapısı açılarak kurutma tepsileri hassas terazi ile tartılmıştır. Kurutma sıcaklığı 50°C'ye ayarlanmıştır.				
3	Kurutma süresince kurutma kabini kapısı kapalı tutulmuştur. Kurutma sıcaklığı 60°C'ye ayarlanmıştır. Labview yazılımının veri toplama kartıyla bağlantısı kesildiği için yaklaşık 25 dakikalık veri kaybı olmuştur. Bu kayıp kurutma süresine eklenmiştir.				
4	Dört saatlik aralıklarla kurutma kabini kapısı açılarak kurutma tepsileri hassas terazi ile tartılmıştır. Kurutma sıcaklığı 50°C'ye ayarlanmıştır. Her tartım sonrasında tepsilerin yerleri değiştirilmiştir.				
5	Kurutma süresince kurutma kabini kapısı kapalı tutulmuştur. Kurutma sıcaklığı 60°C'ye ayarlanmıştır. Yük hücresi titreşim sönümlenme montaj kiti kullanılmıştır.				
6	Kurutma süresince kurutma kabini kapısı kapalı tutulmuştur. Kurutma sıcaklığı 50°C'ye ayarlanmıştır. Yük hücresi titreşim sönümlenme kiti kullanılmıştır.				

Bütün kurutma denemelerinde aynı başlangıç ağırlığında taze ıspanak kullanılmıştır. Yük hücresi titreşim sönümlenme montaj kiti ilk dört kurutma denemesinde kullanılmazken son iki kurutma denemesinde kullanılmıştır. Kurutma denemeleri, Labview'de hazırlanan kurutma uygulamasının hesapladığı ıspanakların son nem içerikleri, güvenli depolama nem içeriği olan %10-12 (wb) arasında olduğunda kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Sadece 3'nolu denemede ıspanakların son nem içeriği (%10.65) güvenli depolama nem içeriği aralığında kalmıştır. Dört denemede (1, 2, 5 ve 6 nolu denemeler) ıspanakların son nem içerikleri güvenli depolama nem içeriğinden yüksek

olmuştur. 4'nolu denemede ise ıspanakların son nem içeriği (%8.98) ise güvenli depolama nem içeriğinden kısmen düşük olmuştur. %89.1 ilk nem içeriğine sahip 4 kg ıspanak %10-12 nem içeriğine düşürmek için 3.516-3.505 kg su uzaklaştırılması ve son ağırlığının 0.484-0.495 kg düşürülmesi gerekmektedir. Sadece 3'nolu denemede ıspanağın son ağırlığı (0.488 kg) istenilen son ağırlık aralığında kalmıştır. 1'nolu denemede ıspanağın son ağırlığı (0.578 kg) istenilen son ağırlık aralığının üst sınır değerinden 0.083 kg daha yüksek olmuş ve en fazla değişimi göstermiştir. 1'nolu denemede ıspanağın son ağırlığı, istenilen son ağırlık aralığının üst değerinden sadece 83 g daha fazla olmasına rağmen son nem içeriği güvenli depolama nem içeriği üst değerinden (%12) 12.57 puan artış göstererek %24.57 değerine ulaşmıştır. Ispanak gibi çok yüksek ilk nem içeriğine sahip ürünler kurutulduklarında yüksek miktarlarda su kayıp ettikleri için kurutma sonrası ağırlıklarındaki nispeten küçük değişimler son nem içeriklerinde büyük değişimlere neden olmuştur. Denemelerde kurutulan ıspanakların son ağırlıklarındaki değişkenliğin nedeni ağırlık ölçümlerinde titreşimlerin meydana gelmesi olmuştur. Bu titreşimler ileride daha detaylı açıklanmıştır. Kurutma süreleri 13 saat 41 dakika ile 20 saat 33 dakika arasında değişmiştir. 1 ve 6 nolu denemelerde kurutma sıcaklığı 50°C olmasına rağmen kurutma süreleri arasında 3 saat 4 dakika fark olmuştur. Benzer şekilde 3 ve 5 nolu denemelerde kurutma sıcaklığı 60°C olmasına rağmen kurutma süreleri arasında 2 saat 23 dakika fark olmuştur. Aynı denemelerin tekrarlarında kuruma süreleri ve son nem içerikleri arasında nispeten büyük farkların oluşmasının nedeninin ağırlık ölçümlerindeki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2 ve 4 nolu denemelerde dört saatlik aralıklarda kurutucu kapısı açılarak kurutma tepsileri çıkartılarak tartımları kuruma süresini belirgin olarak uzatmadığı görülmüştür. Tartım süresinin kısa sürelerde (~10 dakika) tamamlanmasının kurumanın yavaşlamadan devam etmesini sağladığı düşünülmektedir. 4 nolu denemede tepsilerin yerlerinin her tartımdan sonra yerlerinin değiştirilmesinin, 2 nolu denemeye göre kuruma süresini kısalttığı ve son nem içeriğini daha düşürdüğü görülmektedir. Bu gözlemin güvenilirliğinin artırılması için daha fazla denemenin yapılması faydalı olacaktır. Kurutma sıcaklığının 50°C'den 60°C'ye çıkarılmasının kuruma süresini kısalttığı görülmektedir. Hava sıcaklığındaki artış kurutma hızını arttırmış ve kuruma süresini kısaltmıştır. Benzer bir çalışmada, ıspanağın kurutulmasında, kuruma süresi, 80°C'de 165 dakika iken 50°C'de 495 dakika olarak bildirilmiştir (Doymaz, 2009).

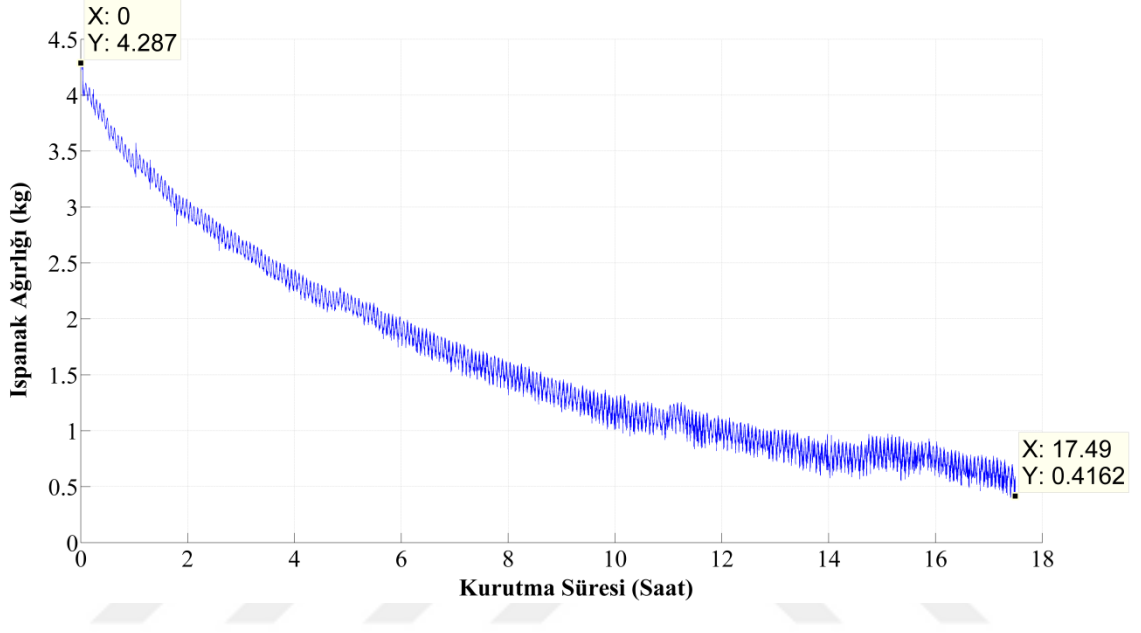
Kurutma denemelerinde ölçülen ortam havası sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile kurutucu kabine giriş ve çıkıştaki hava hızlarının ortalama değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Denemeler boyunca ölçüm cihazlarıyla ölçülen değerlerin ortalaması

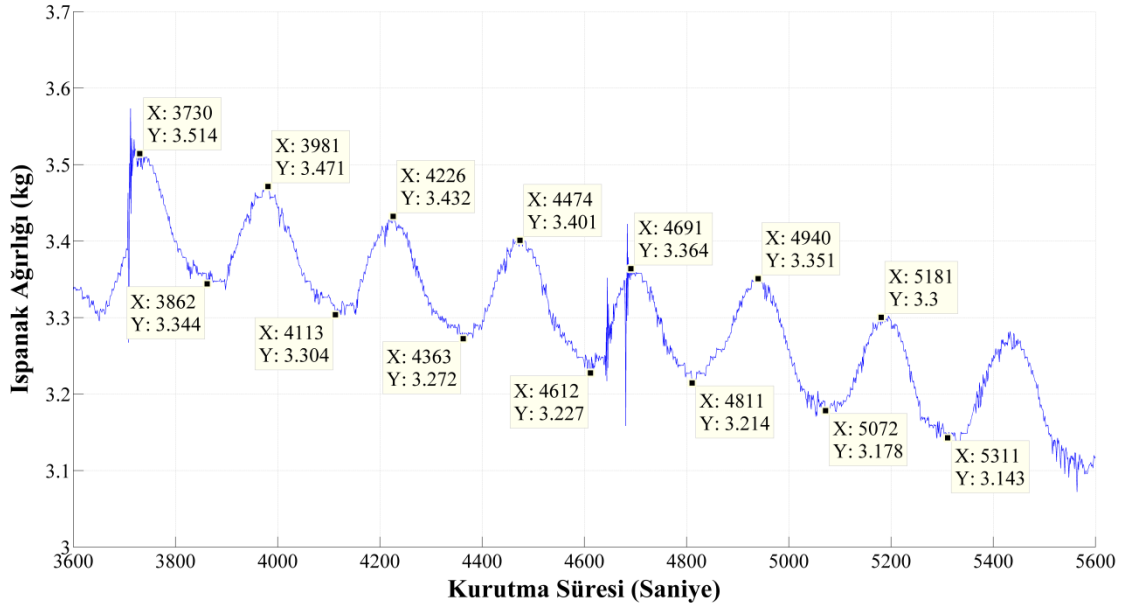
Deneme No. Ölçülen Değer	1. Kurutma Denemesi	2. Kurutma Denemesi	3. Kurutma Denemesi	4. Kurutma Denemesi	5. Kurutma Denemesi	6. Kurutma Denemesi
Ortam Havası Sıcaklığı	19.86 °C	20.92 °C	22.11 °C	22.98 °C	22.74 °C	24.10 °C
Ortam Havası Bağıl Nemi	46.33 %	47.50 %	46.63 %	40.29 %	39.85 %	41.33 %
Hava Giriş Kanalı Hava Hızı (Deneme Başlangıcı)	1.58 m/s (0.114 m ³ /s)	1.78 m/s (0.125 m ³ /s)	1.06 m/s (0.075 m ³ /s)	1.64 m/s (0.115 m ³ /s)	1.73 m/s (0.122 m ³ /s)	1.76 m/s (0.124 m ³ /s)
Hava Çıkış Kanalı Hava Hızı (Deneme Başlangıcı)	1.63 m/s (0.115 m ³ /s)	2.32 m/s (0.164 m ³ /s)	1.66 m/s (0.117 m ³ /s)	2.06 m/s (0.145 m ³ /s)	1.55 m/s (0.109 m ³ /s)	2.18 m/s (0.154 m ³ /s)
Hava Giriş Kanalı Hava Hızı (Deneme Bitişi)	1.82 m/s (0.128 m ³ /s)	1.86 m/s (0.131 m ³ /s)	0.90 m/s (0.063 m ³ /s)	1.72 m/s (0.121 m ³ /s)	1.03 m/s (0.072 m ³ /s)	1.80 m/s (0.127 m ³ /s)
Hava Çıkış Kanalı Hava Hızı (Deneme Bitişi)	2.38 m/s (0.168 m ³ /s)	2.13 m/s (0.150 m ³ /s)	1.67 m/s (0.118 m ³ /s)	2.32 m/s (0.164 m ³ /s)	1.61 m/s (0.113 m ³ /s)	2.09 m/s (0.147 m ³ /s)

Denemeler süresince ortam havası ortalama sıcaklık değerleri 19.86 °C ile 24.10 °C arasında değişirken ortam havası ortalama bağıl nem değerleri %39.85 ile %47.50 arasında değişmiştir. 3 ve 5 no'lu denemelerde fan motor devri maksimum motor devrinin %20'si seçilmiş ve kurutucu kabini girişinde hava hızları 1.06 m/s ve 1.73 m/s olmuştur. Deneme sonunda ise hava hızları 1.66 m/s ve 1.55 m/s olmuştur. Denemeler arasında ve denemelerin başlangıcı ve sonundaki hava hızı değişimlerinin belirgin bir nedeni bulunmamakta, hız ölçümlerinde oluşan fakat kontrol edilemeyen hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer denemelerde ise fan motor devri maksimum motor devrinin %40'ı seçilmiş olup, bu durum kurutucu kabine girişteki hava hızlarında kısmen artış sağlamış fakat ölçüm hataları bu artışın görünürlüğünü sınırlamıştır. Kurutucu kabinin çıkışındaki hava hızları girişteki hava hızlarıyla benzer değerleri almıştır. Kurutmanın sonunda ıspanakların kurumayla boyutları küçülmüş ve kurutma tepsilerinde boşluklar oluşmuştur. Bu durum kurutma kabini çıkışındaki hava hızının deneme sonuna doğru artmasına neden olmuştur. Kurutucu kabini girişi ve çıkışındaki kanalın çapı 30 cm'dir. Kurutma kabini girişi ve çıkışındaki ölçülen hava hızları ve kanal kesit alanı kullanarak hesaplanan hava debileri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Hava hızlarındaki değişimle orantılı olarak hava debileri de değişmiştir.

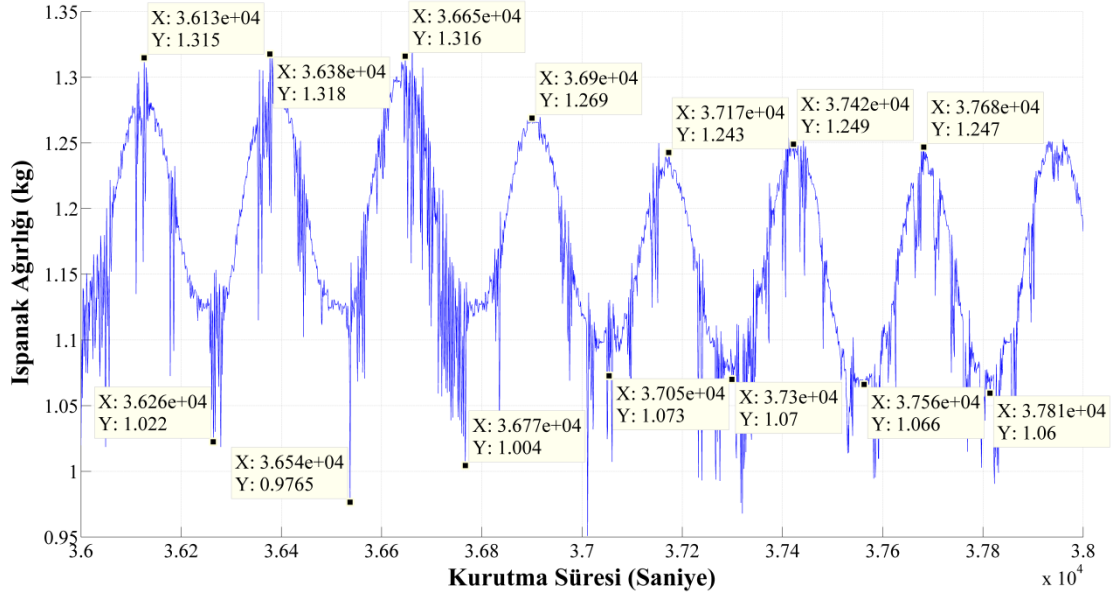
Kurutma denemeleri boyunca yük hücresi ile gerçek zamanlı olarak ölçülen ıspanak ağırlıklarının değişimi Şekil 4.1., 4.4., 4.5., 4.8., 4.9. ve 4.12.'de gösterilmiştir. Şekil 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.10, 4.11, 4.13. ve 4.14.'de ise ağırlık değiş eğrilerinde meydana gelen dalgalanmalar verilmiştir.



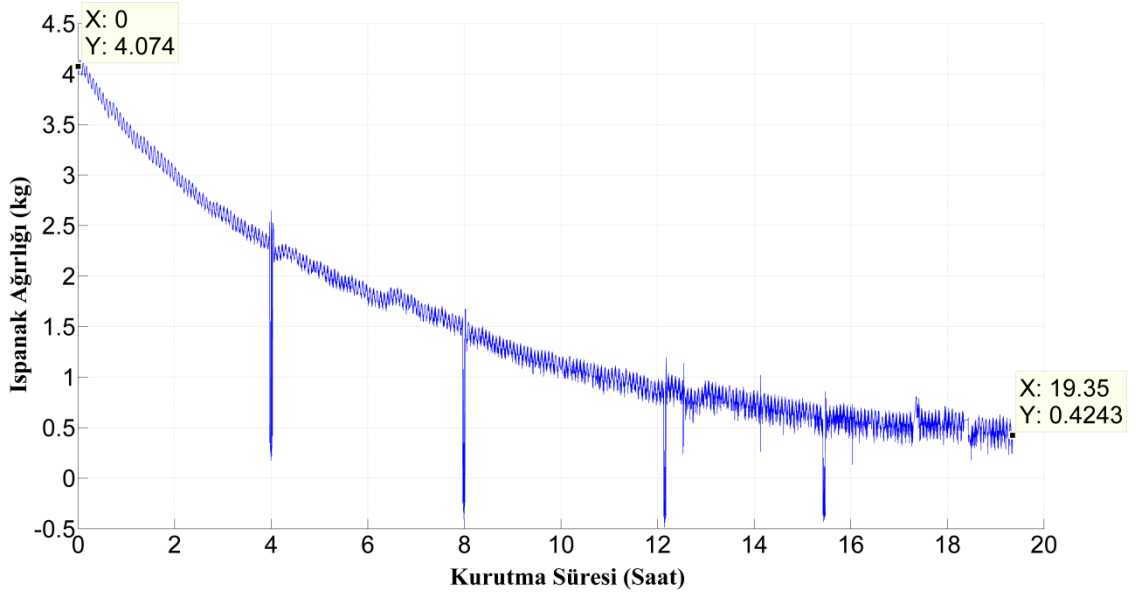
Şekil 4.1. Birinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



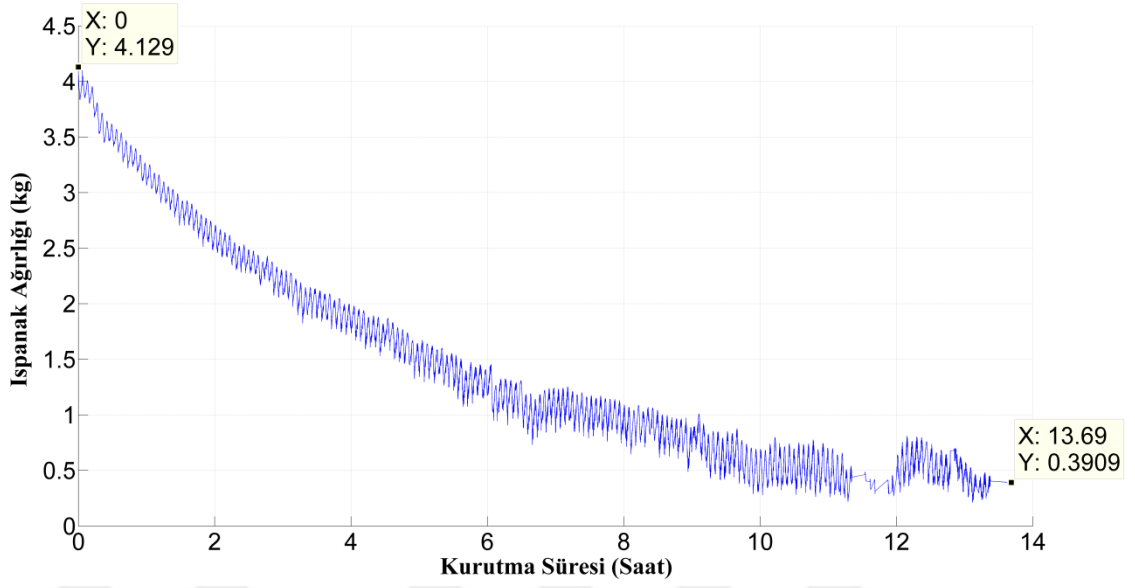
Şekil 4.2. Birinci kurutma denemesi başlarında dalgalanmalar



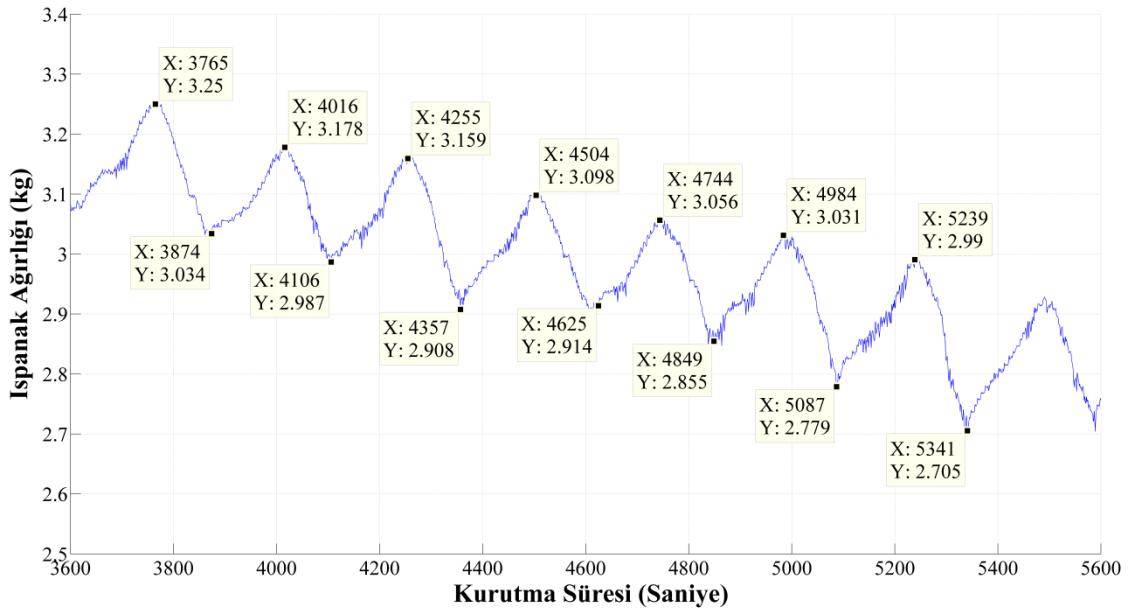
Şekil 4.3. Birinci kurutma denemesi sonlarında dalgalanmalar



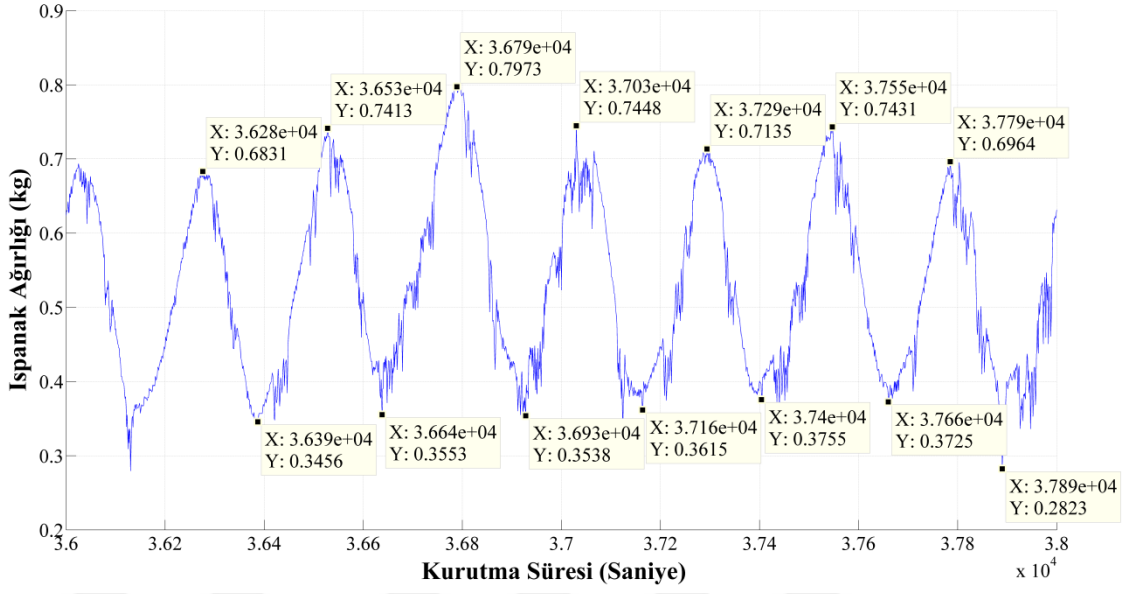
Şekil 4.4. İkinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



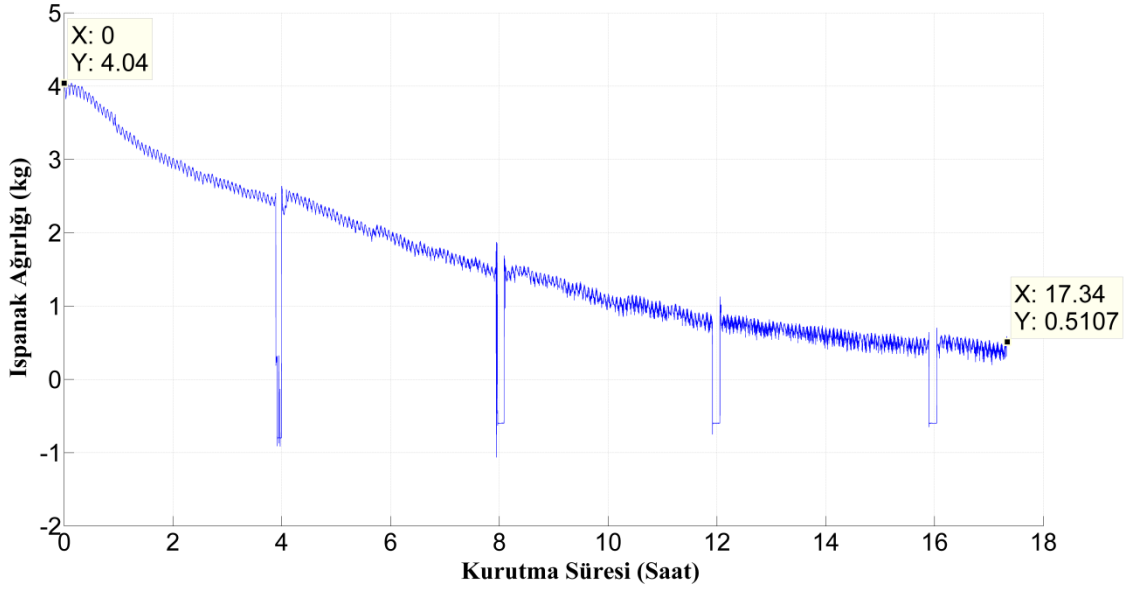
Şekil 4.5. Üçüncü kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



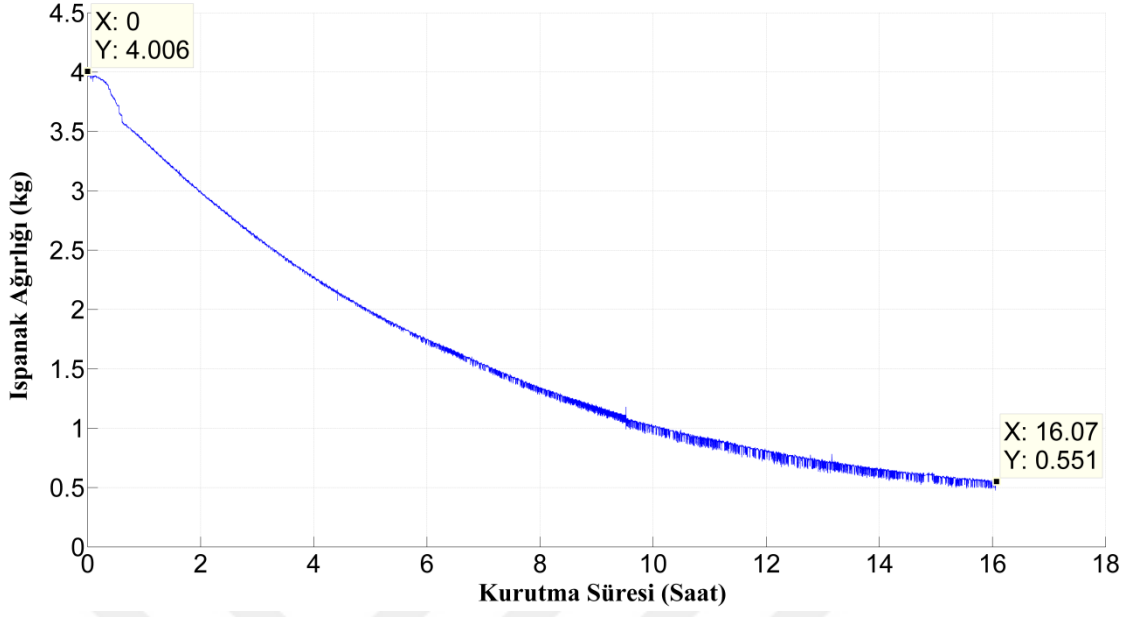
Şekil 4.6. Üçüncü kurutma denemesi başlarında dalgalanmalar



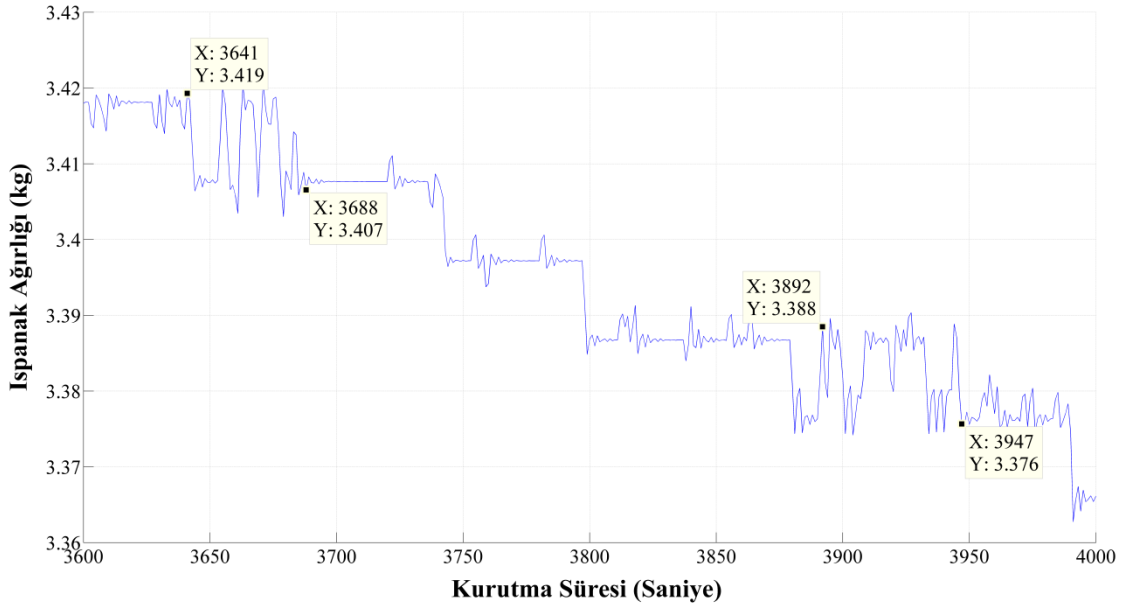
Şekil 4.7. Üçüncü kurutma denemesi sonlarında dalgalanmalar



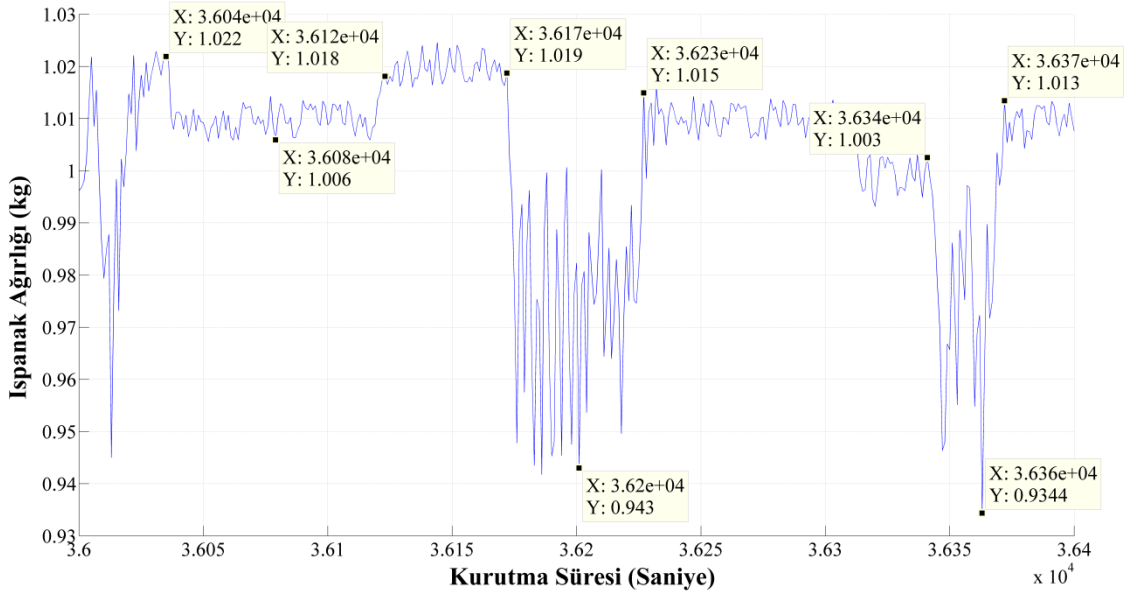
Şekil 4.8. Dördüncü kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



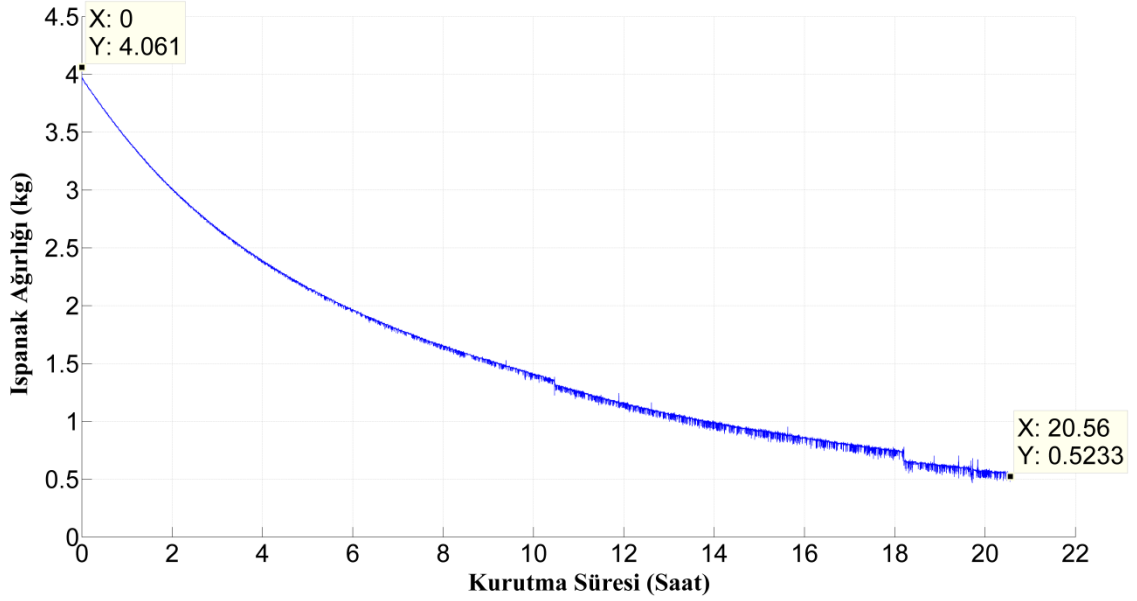
Şekil 4.9. Beşinci kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



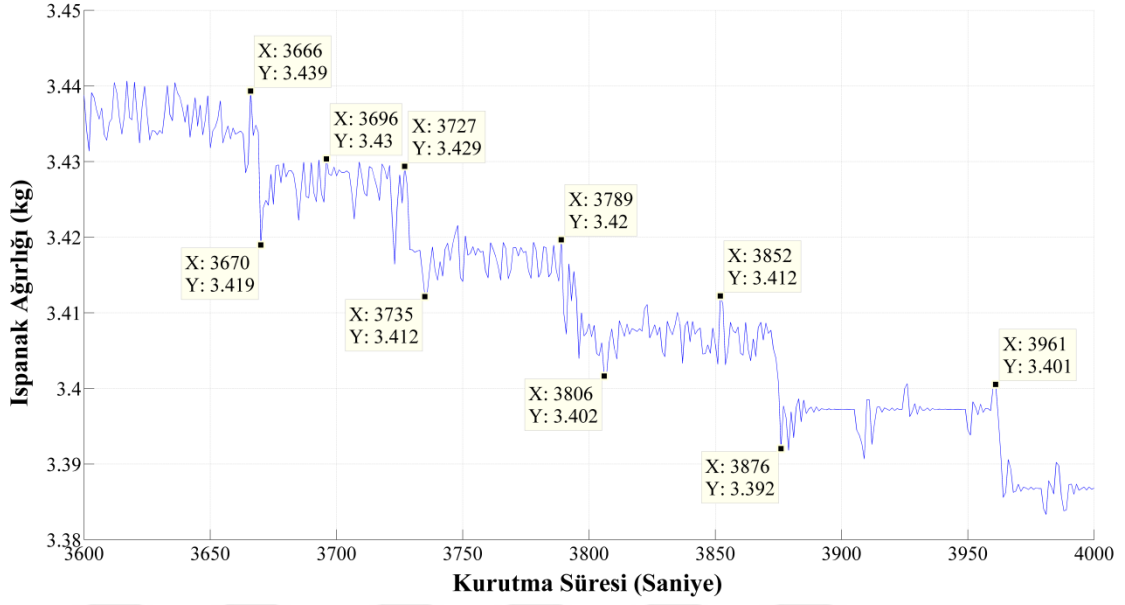
Şekil 4.10. Beşinci kurutma denemesi başlarındaki kararsız dalgalanmalar



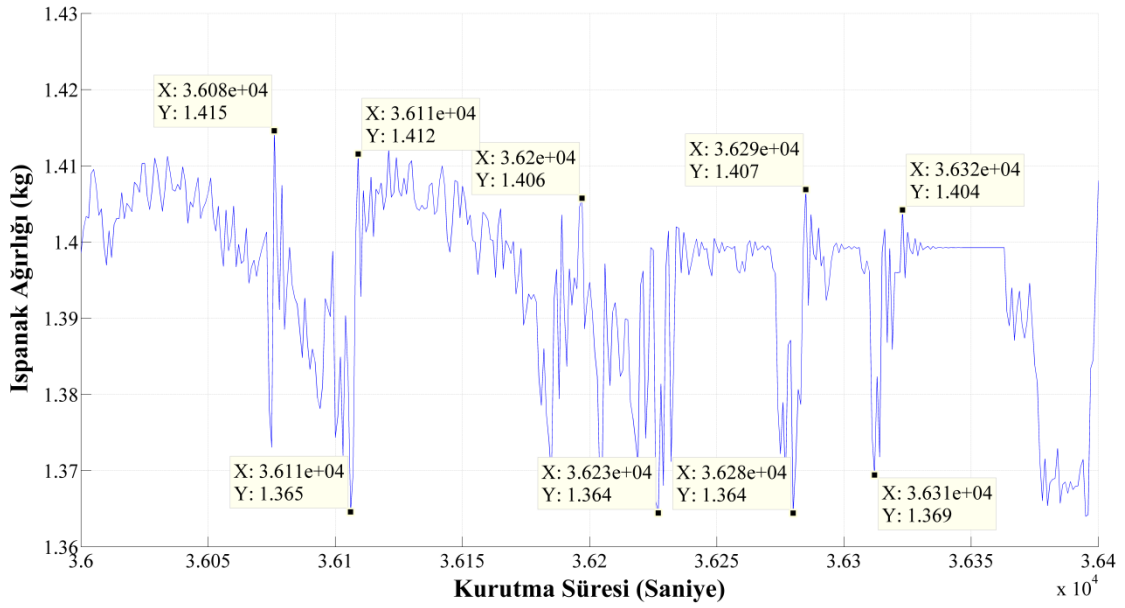
Şekil 4.11. Beşinci kurutma denemesi sonlarındaki kararsız dalgalanmalar



Şekil 4.12. Altıncı kurutma denemesinde ıspanak ağırlık değişimi



Şekil 4.13. Altıncı kurutma denemesi başlarındaki kararsız dalgalanmalar



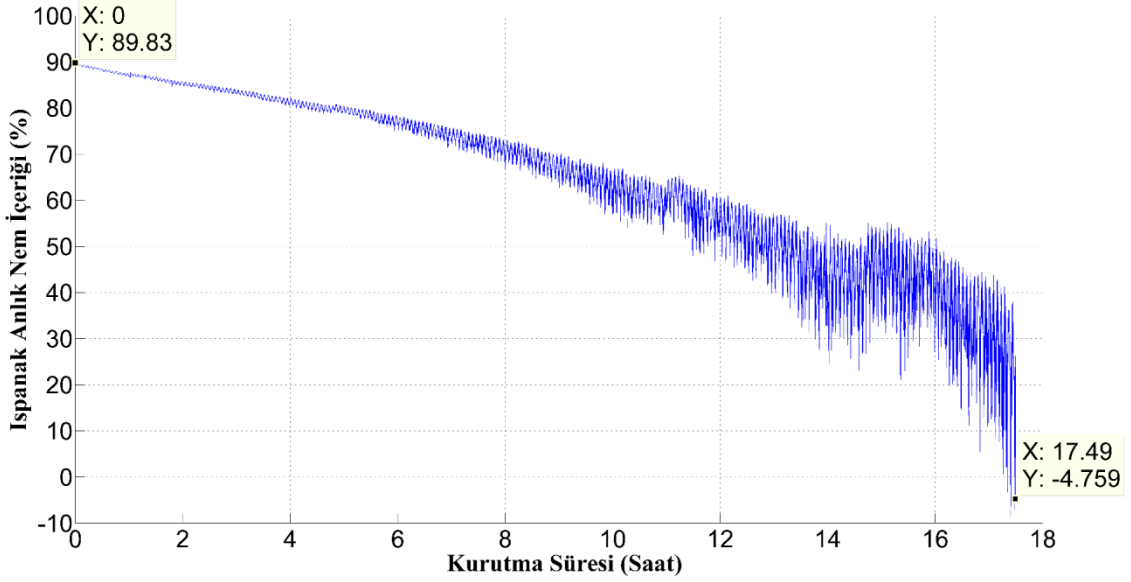
Şekil 4.14. Altıncı kurutma denemesi sonlarındaki kararsız dalgalanmalar

Bütün kurutma denemelerinde ıspanak ağırlıkları, kurutma işlemin başlarında ıspanağın sahip olduğu yüksek nem içeriğinden dolayı daha hızlı, kurutmanın sonlarına doğru ise ıspanaktaki nem azalmasına bağlı olarak daha yavaş azalma göstermiştir. Bütün ıspanak ağırlık değişim grafiklerinde dalgalanmalar meydana gelmiştir. Isıtıcının ve fanın çalıştırılmadığı durumlarda dalgalanmaların meydana gelmediği görülmüştür. Hava akışının etkisiyle kurutma rafının salınım yapmasının bu dalgalanmalara neden olduğu düşünülmektedir. Birinci denemede kurutmanın başlarında meydana gelen dalgalanmaların genliği, periyodu ve frekansı yaklaşık 0.082 kg, 123 s ve 0.0081 s^{-1} olmuştur (Şekil 4.2). Kurutmanın ilerlemesiyle dalgalanmalar değişim göstermiş olup, son bölümlerde genliği, periyodu ve frekansı sırasıyla yaklaşık 0.095 kg, 120 s ve 0.0083 s^{-1} olmuştur (Şekil 4.3.). İkinci ve dördüncü kurutma denemelerinde her dört saatte bir kurutma tepsileri çıkartılarak tartıldıkları için ağırlık değişimlerinde büyük anlık düşüşler görülmüştür. İkinci denemede 12'inci saatten sonra daha büyük dalgalanmaların olduğu görülmüştür. Bu dalgalanmaların ölçüm kaynaklı hatalar olduğu düşünülmektedir. Üçüncü denemede daha büyük dalgalanmaların meydana geldiği görülmüştür. Bu denemede, birinci, ikinci ve dördüncü denemelere (maksimum fan motor devrinin %40'ı ve 50°C) kıyasla daha düşük fan motor devri (maksimum fan motor devrinin %20'si) kullanılmasına rağmen kurutma sıcaklığının daha yüksek olmasının (60°C) dalgalanmaları artırdığı görülmüştür. Üçüncü denemede kurutmanın başlarında dalgalanmaların genliği, periyodu ve frekansı yaklaşık olarak 0.114 kg, 243 s ve 0.0041 s^{-1} iken denemelerin sonlarına doğru dalgalanmaların genliği, periyodu ve frekansı yaklaşık olarak 0.186 kg, 263 s ve 0.0038 s^{-1} olmuştur (Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.). Üçüncü denemede kurutmanın on ikinci saatinden önce görülen düzensiz sapmaların nedeni veri toplama kartının bilgisayarla bağlantısının kopmasıyla yaklaşık olarak 25 dakika veri kaybının yaşanmasıdır.

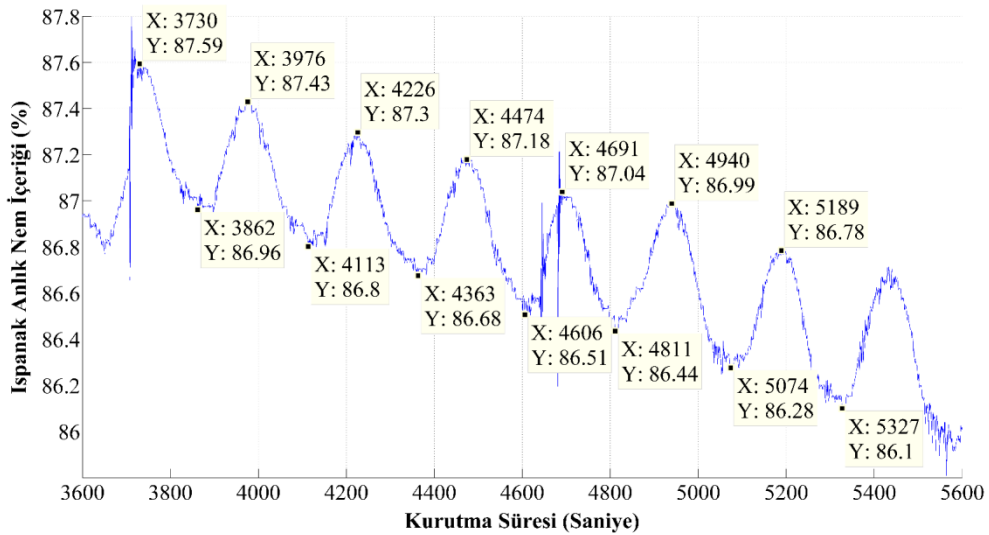
Beşinci ve altıncı kurutma denemelerinde yük hücresi titreşim sönümler kiti kullanılması dalgalanmaların genliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Her iki denemede meydana gelen dalgalanmalar benzer olmuştur. Son iki denemede dalgalanmalar diğerlerine göre kararsız olmuştur. Beşinci denemede kurutmanın başlarında kararsız dalgalanmaların genliği 0.010 ve 0.006 kg arasında iken kurutmanın sonlarına kararsız dalgalanmaların genliği 0.038 ve 0.008 kg arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.). Altıncı denemede kurutmanın başlarında kararsız dalgalanmaların genliği 0.010 ve 0.008 kg arasında iken kurutmanın sonlarına kararsız dalgalanmaların genliği 0.025 ve 0.019 kg arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.).

Bütün denemeler birlikte değerlendirildiğinde yük hücresi titreşim sönümler kiti dalgalanma genliğini yaklaşık %85 azaltmıştır. Ağırlık izleme sistemlerinde bu kit mutlaka kullanılmalıdır. Tüm denemelerde kurutmanın sonlarına doğru dalgalanmaların genliği artmıştır. Ispanak yüklü kurutma rafları ve tepsileri kurutmanın sonlarına doğru hafiflemiş ve hava akışından daha fazla etkilenerek yüksek genliğe sahip dalgalanmalar üretmişlerdir. Dalgalanmaları daha fazla azaltmak için yük hücresi titreşim sönümler kitinden bir tanede yük hücresi altındaki halkada kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

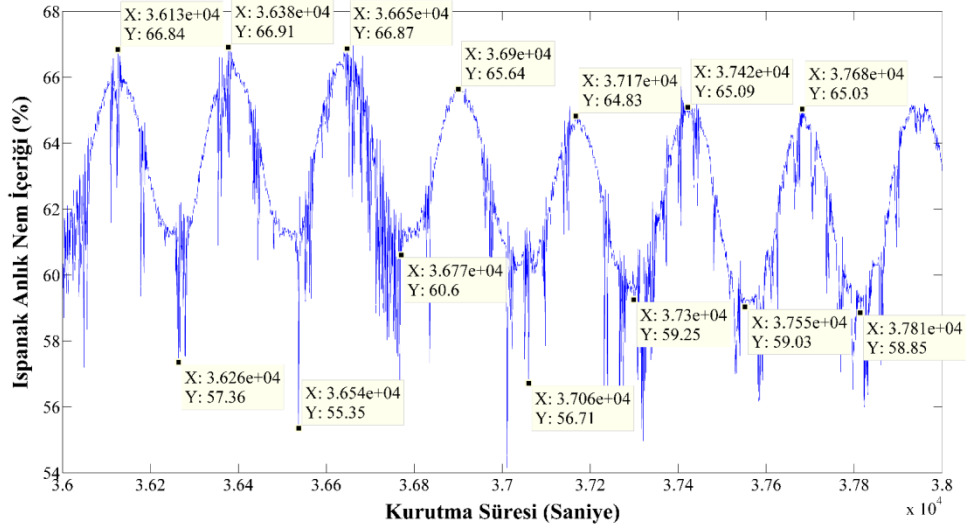
Kurutma denemeleri boyunca ölçülen anlık ağırlık verileriyle hesaplanan ıspanak anlık nem içeriği değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.15., 4.18., 4.19., 4.20., 4.21. ve 4.22.'da gösterilmiştir.



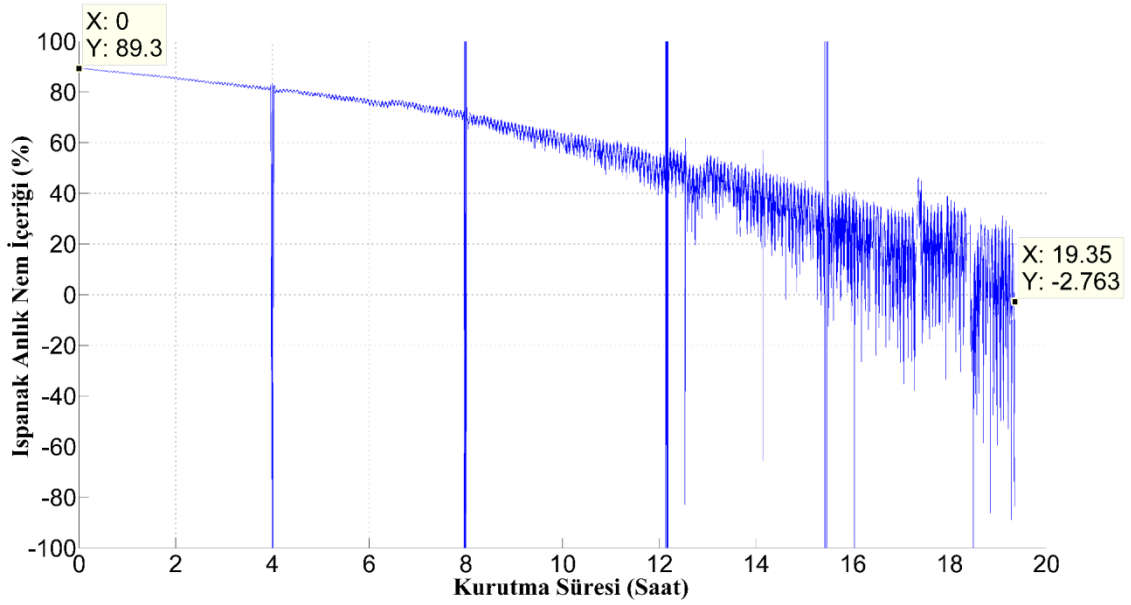
Şekil 4.15. Birinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi



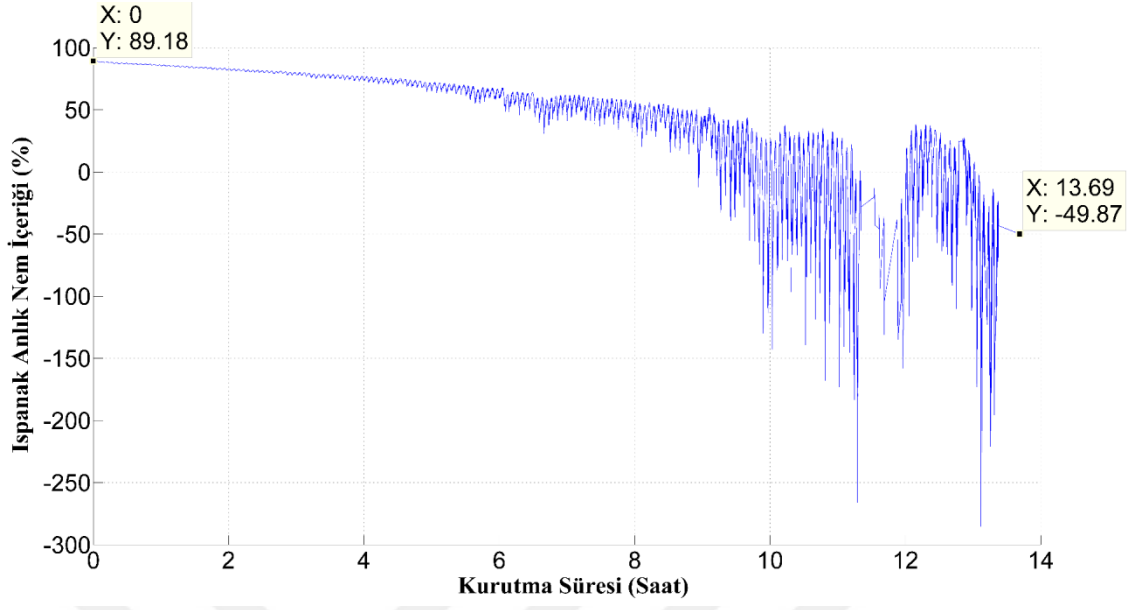
Şekil 4.16. Birinci kurutma denemesi başlarındaki dalgalanmalar



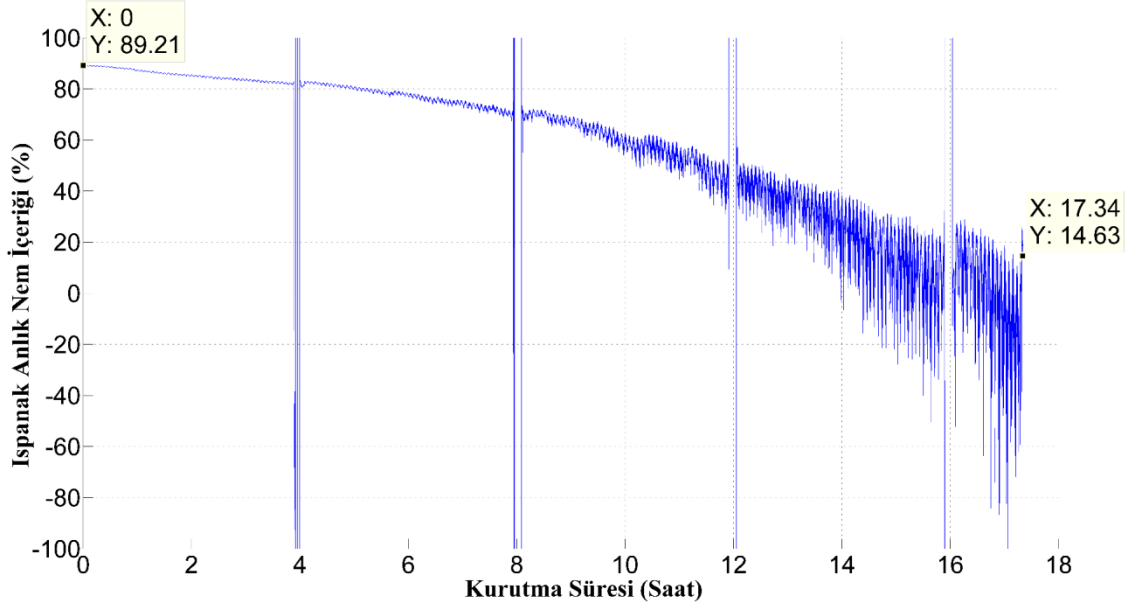
Şekil 4.17. Birinci kurutma denemesi sonlarındaki dalgalanmalar



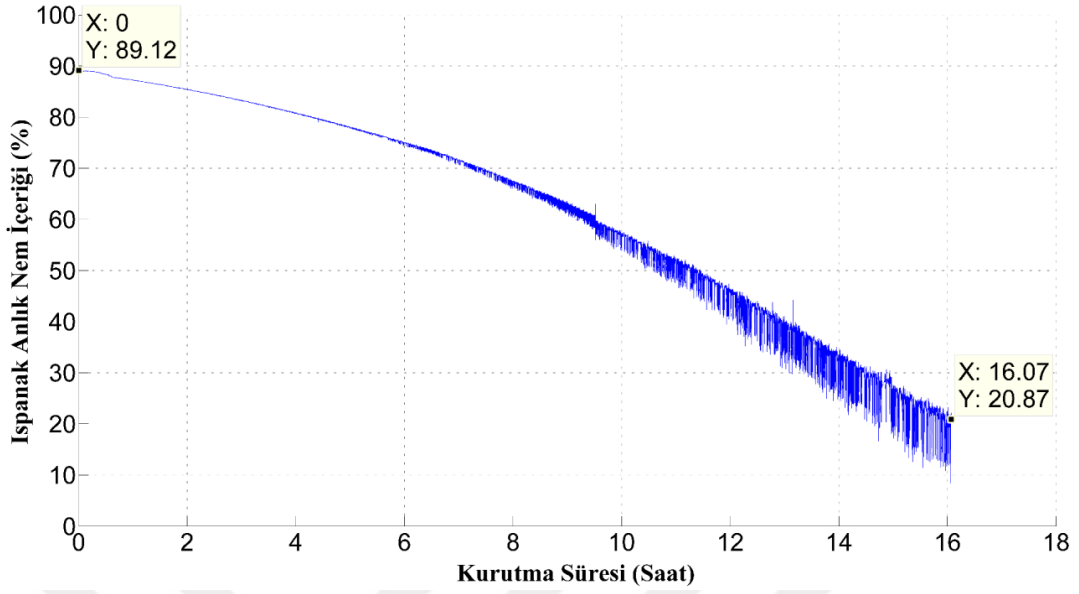
Şekil 4.18. İkinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi



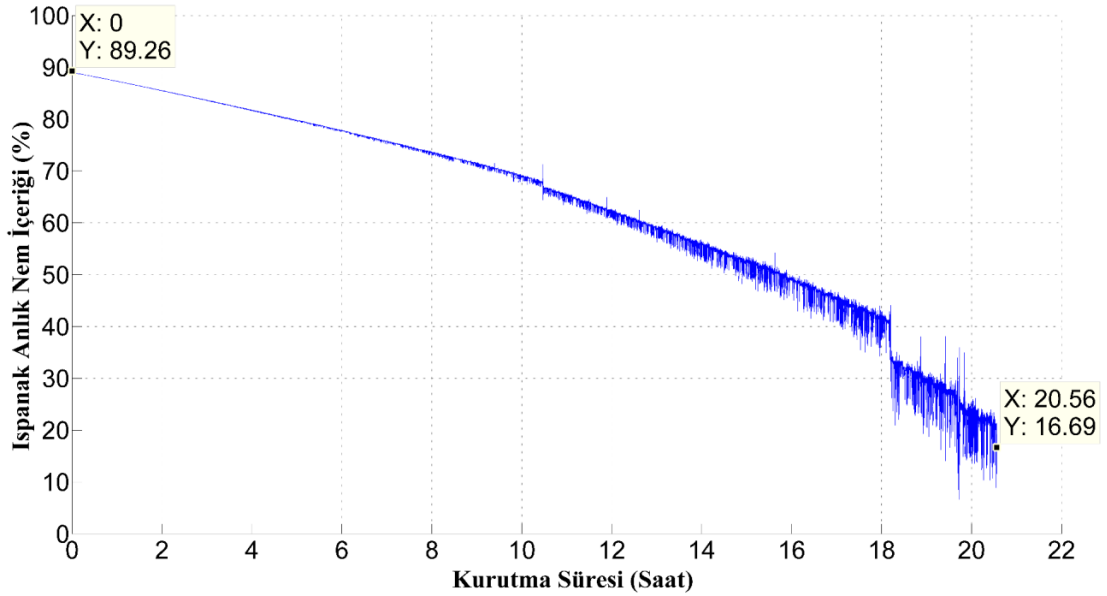
Şekil 4.19. Üçüncü kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi



Şekil 4.20. Dördüncü kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi



Şekil 4.21. Beşinci kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi



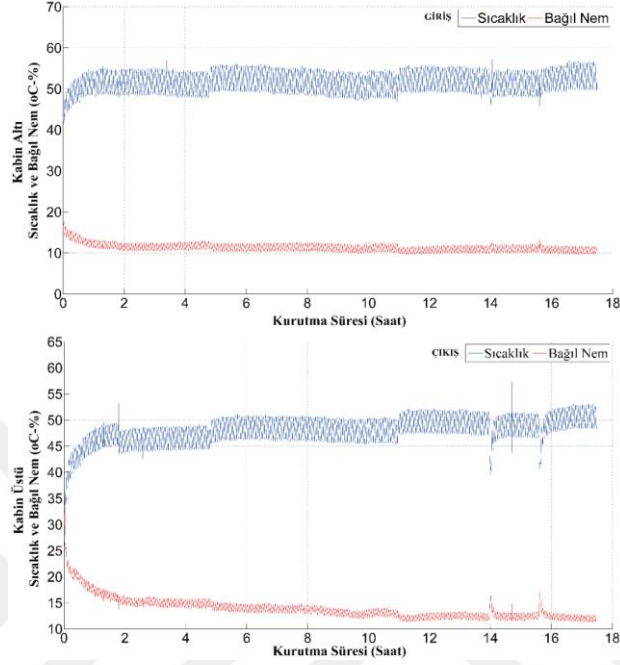
Şekil 4.22. Altıncı kurutma denemesinde ıspanak anlık nem değişimi

Bütün kurutma denemelerinde anlık nem değerlerinin kurutmanın başlarında daha yavaş ve kurutmanın sonlarına doğru daha hızlı azaldığı görülmektedir. Bu durum ağırlık değişimlerinde gözlemlenen durumun tersidir. Bunun nedeni, ıspanakların kurutmanın başlarında nispeten daha hızlı su kaybetmesine rağmen toplam ağırlıklarının halâ yüksek olması ve anlık nem içeriği hesaplanmasında su içeriğinin toplam ağırlığa bölünmesidir.

Ağırlık değişimlerinde gözleendiği gibi anlık nem değişimlerinde de dalgalanmaların meydana geldiği görülmüştür. Bu dalgalanmalar da ağırlık değişimlerindeki gibi kurutmanın sonuna doğru artmıştır. Bu artış ağırlık değişimlerinde görülen artışlara göre çok daha fazla olmuştur. Örneğin birinci kurutma denemesinde kurutmanın başlarında dalgaların genliği, periyodu ve frekansı yaklaşık olarak % 0.315, 117 s ve 0.0085 s^{-1} iken, kurutmanın son dönemlerinde dalgaların genliği, periyodu ve frekansı yaklaşık olarak % 4.80, 115 s ve 0.0086 s^{-1} olmuştur (Şekil 4.16. ve 4.17.).

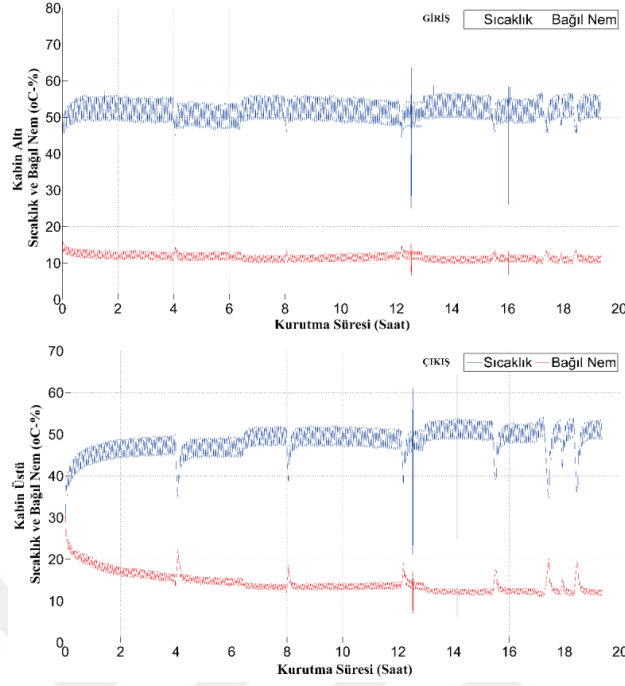
Kurutmanın son dönemlerinde ağırlıklarda meydana gelen değişimlerin anlık nem içeriği üzerine etkisi çok büyük olmuştur. Kurutmanın son dönemlerinde ıspanak ağırlıklarının çok düşük olması, ağırlık dalgalanmalarının anlık nem içeriği değerlerine olan etkisi çok fazla artırmıştır. Ayrıca, ağırlık dalgalanmalarının kurutmanın son döneminde artması anlık nem içeriğindeki dalgalanmaları artırmıştır. Beşinci ve altıncı denemelerde yük hücresi titreşim sönümlenme kitinin kullanılması ağırlık değişim eğrilerindeki dalgalanmaları azalttığı için anlık nem içeriği değişim eğrilerindeki dalgalanmaları da azaltmıştır. Son iki denemede anlık nem içeriği eğrilerindeki dalgalanmalar kararsızdır. Yük hücresi titreşim sönümlenme kitinin kullanılmasına rağmen kurutmanın son dönemlerindeki anlık nem içeriği eğrisindeki kararsız dalgalanmaların olmasından dolayı kurutma işlemlerinin sonlandırılmasında okunan anlık nem değerlerinin kullanılmasını zorlaştırmıştır. Anlık nem içeriği eğrilerindeki dalgalanmaların güvenli depolama nem içeriği aralığı olan %10-12'yi aşmaması gerekmektedir. Anlık nem içeriği eğrilerindeki dalgalanmaları azaltmak için yük hücresi titreşim sönümlenme kitinde birden fazla halka kullanılarak ağırlık değişim grafiklerindeki değişimlerinin sıfırlanması gerekmektedir. Son iki denemede kurutmanın başlarında anlık nem içeriği eğrilerindeki kararsız dalgalanmaların genliği % 0.05 ve %0.02 arasındayken, kurutmanın son döneminde ise kararsız dalgalanmaların genliği %0.40 ve %0.55 arasında olmuştur. Yük hücresi titreşim sönümlenme kitinin kullanılmasına rağmen kurutmanın son dönemlerindeki anlık nem içeriği eğrisindeki kararsız dalgalanmaların genliği %0.40 ve % 0.55 arasında olmasından dolayı kurutma işlemlerinin sonlandırılmasında okunan anlık nem değerlerinin kullanılmasını zorlaştırmıştır.

Kurutma süresi boyunca kurutma kabininin girişi ve çıkışındaki hava sıcaklığı ve bağıl nem değişimleri Şekil 4.23., 4.24., 4.25., 4.26., 4.27. ve 4.28.'da gösterilmiştir.



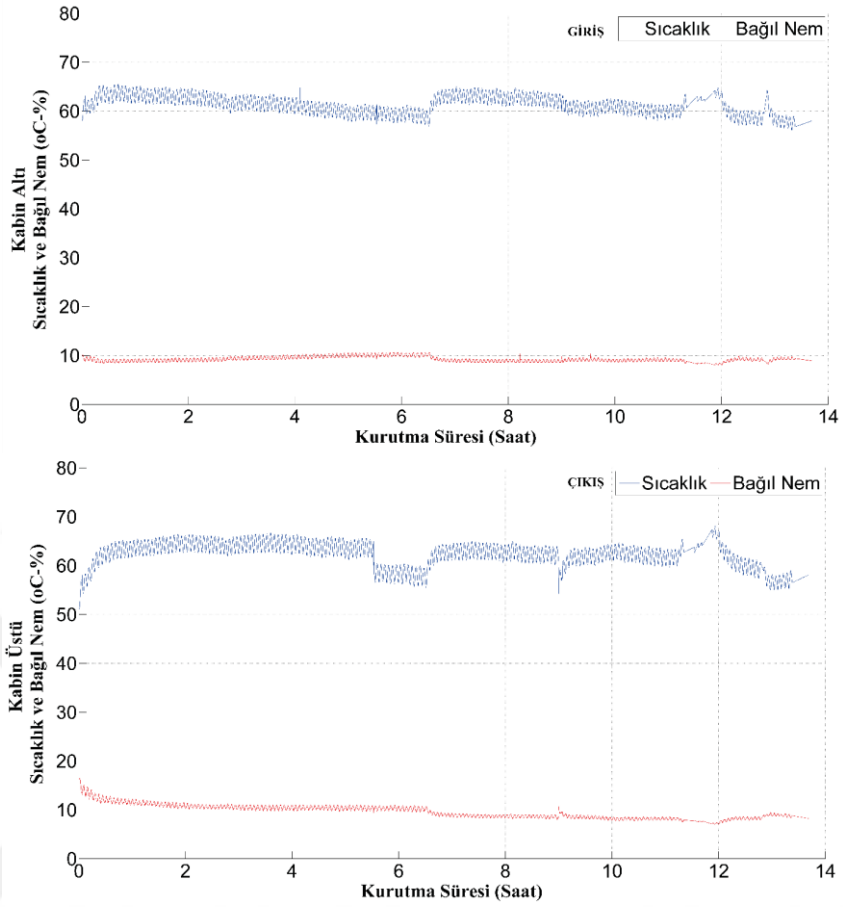
Şekil 4.23. Birinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Dört denemede (1-2-4 ve 6) kurutma havası sıcaklığı 50°C ve iki denemede (3 ve 5) ise 60°C olmuştur. Birinci kurutma denemesinde kurutma süresince kurutma havası sıcaklığının kurutma kabini girişinde ortalama 51.75°C, kurutma kabini çıkışında ortalama 48°C olduğu görülmektedir. Kurutma havası bağıl nemi ise kurutma kabini altında ortalama %11.30 iken kabin üstünde ise ortalama %13.90'dir. Kurutma havasının ıspanaklar arasından geçerken nem kazandığı ve sıcaklığının kısmen düştüğü görülmektedir. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 50°C olarak seçilmiştir. Kabin girişi sıcaklığında yaklaşık 1.75°C'lik bir sapma olduğu görülmektedir. Hava sıcaklığı ve bağıl nem eğrilerinde zigzagların olduğu görülmektedir. Bu zigzagların sıcaklık kontrol ünitesinin istenilen sıcaklığı (50°C veya 60°C) yakalamak için girilen PID ayarlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. İstenilen kurutma havası sıcaklığının küçük sapmalar haricisinde yakalandığı görülmektedir. Grafikler üzerinde (özellikle sıcaklık grafiğinde) anlık bazı büyük sapmaların olduğu görülmektedir. Bu sapmalar, sıcaklık/bağıl nem ölçüm cihazından kaynaklanan geçici hatalar olarak değerlendirilmiştir.



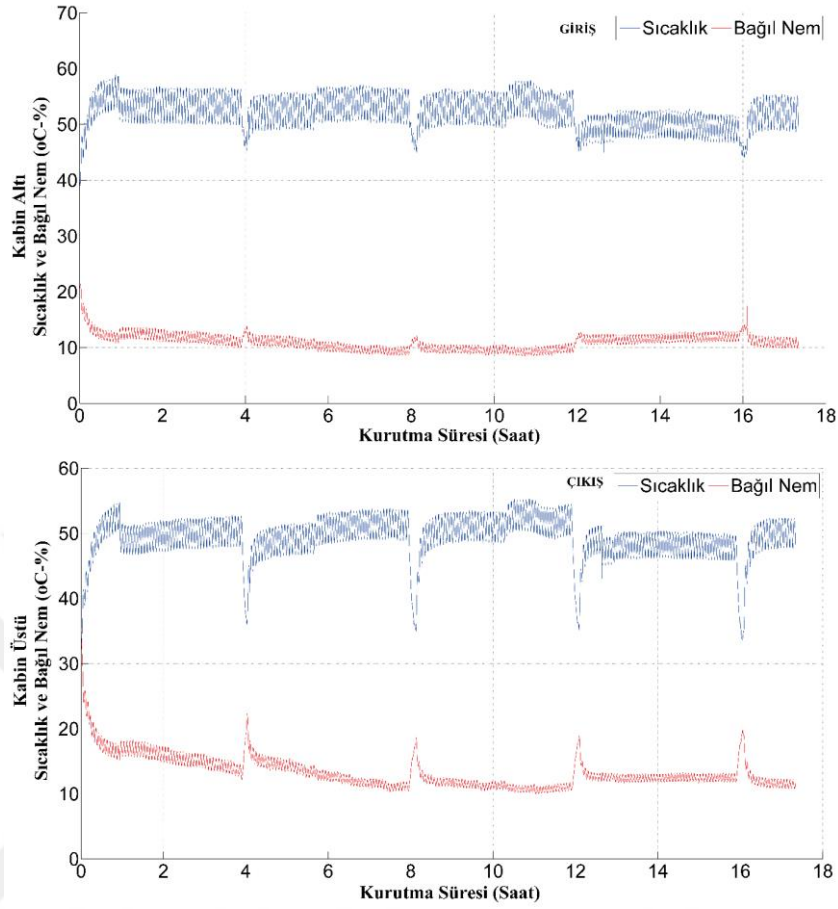
Şekil 4.24. İkinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

İkinci kurutma denemesinde kurutma boyunca kurutma havası sıcaklığı kurutma kabini altında ortalama 51.95°C, kurutma kabini üstünde ortalama 48.30°C olduğu görülmektedir. Kurutma havası bağıl nem ise kurutma kabini altında ortalama %11.55 iken kabin üstünde ise ortalama %14.30'dir. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 50°C olarak seçilmiştir. Kabin girişi sıcaklığına bakıldığında yaklaşık olarak 1.95°C'lik bir sapma olduğu görülmektedir. İkinci denemede kurutma tepsilerinin tartım için kurutma kabininden çıkarıldığı zamanlarda özellikle kurutma kabini çıkışındaki havanın sıcaklığında hızlı bir düşüş (V-şeklinde) ve bağıl neminde ise hızlı bir yükselişin (ters V-şeklinde) olduğu görülmektedir. Kurutma kabini girişindeki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde ise daha düşük miktarlarda fakat benzer bir değişim oluşmuştur. Bu değişim kurutma kabinin açılmasıyla birlikte kabin içerisine çevre havasının girmesinden kaynaklanmıştır. Tartım işlemi kısa sürelerde tamamlanarak kurutma kabini kapısı tekrar kapatıldığı için hava sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin hızlı bir şekilde eski değerlerine geri dönmüştür. Büyük kapasiteli kurutucularda manuel tartım işlemlerinin uzun sürmesi durumunda kabin içindeki kurutma havası sıcaklığının düşük değerlerde daha uzun sürelerde kalabilecek ve ürünlerden nem kaybı yavaşladığından kuruma süreleri uzaya bilecektir.



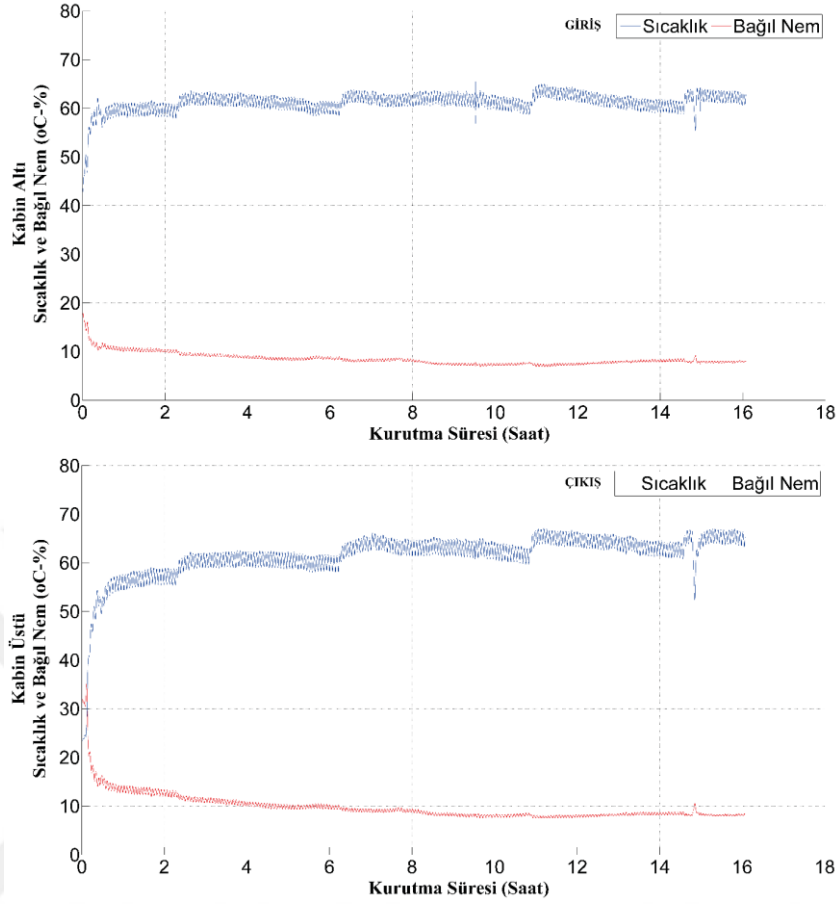
Şekil 4.25. Üçüncü kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Üçüncü kurutma denemesinde kurutma boyunca kurutma havası sıcaklığı kurutma kabini altında ortalama 61.30°C , kurutma kabini üstünde ortalama 62.30°C olduğu görülmektedir. Ispanak nem kaybettiği için kurutma kabini girişindeki hava sıcaklığının çıkıştaki hava sıcaklığından yüksek olması beklenmektedir. Bu durumun, nispeten yüksek sıcaklık olan 60°C 'de ölçüm cihazının daha yüksek hata yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kurutma havası bağıl nemi ise kurutma kabini altında ortalama %09.23 iken kabin üstünde ise ortalama %09.72'dir. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 60°C olarak seçilmiştir. Isıtma sistemi ve sıcaklık kontrol ünitesi istenilen 60°C sıcaklığı sağlamada kısmi sapmalar dışında başarılı olmuştur.



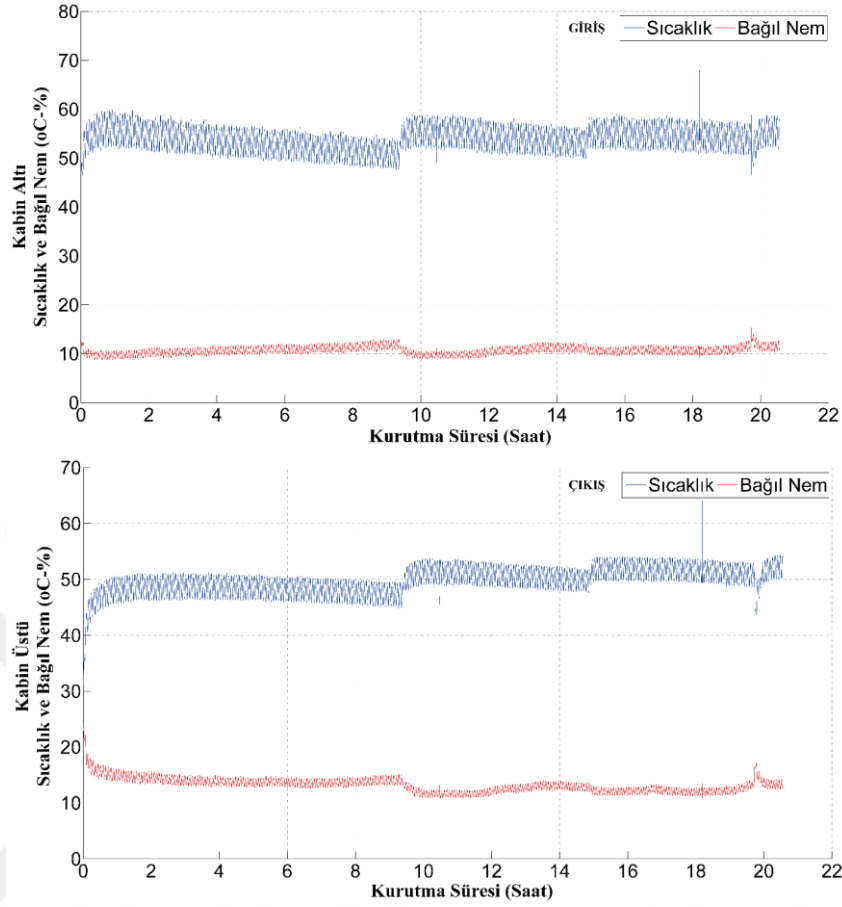
Şekil 4.26. Dördüncü denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Dördüncü kurutma süresi boyunca kurutma havası sıcaklığı kurutma kabini altında ortalama 52°C , kurutma kabini üstünde ortalama 49.22°C olduğu görülmektedir. Kurutma havası bağıl nem ise kurutma kabini altında ortalama %10.95 iken kabin üstünde ise ortalama %13.35'dir. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 50°C olarak seçilmiştir. Kabin girişi sıcaklığına bakıldığında yaklaşık olarak 2°C 'lik bir sapma olduğu görülmektedir. İkinci kurutma denemesinde olduğu gibi kurutma tepsilerinin tartım için kurutma kabininden çıkarıldığı sürelerde hava sıcaklarında azalma ve bağıl nem değerlerinde ise bir artış olmuştur. Bu değişime, kurutma kabini kapısı açıldığı içim kabin içerisine giren daha düşük sıcaklıktaki çevre havası neden olmuştur.



Şekil 4.27. Beşinci kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

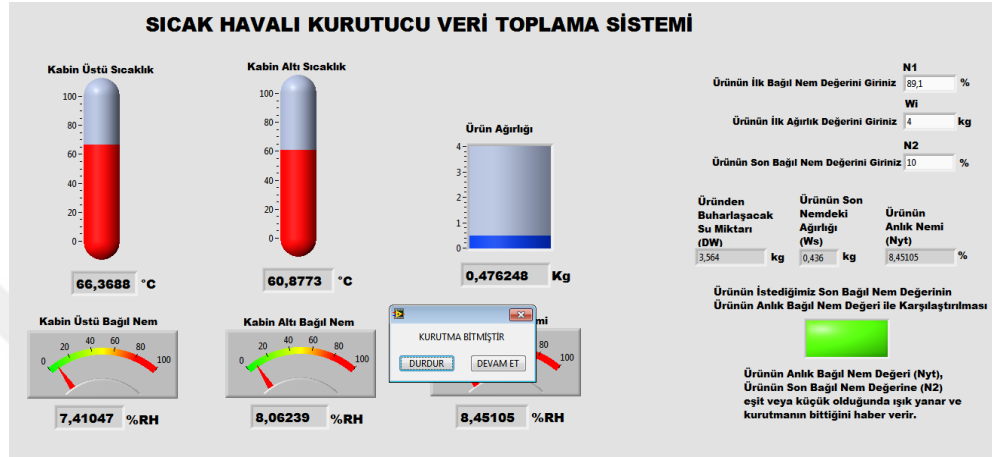
Beşinci kurutma denemesinde kurutma boyunca kurutma havası sıcaklığı kurutma kabini altında ortalama 61.23 °C, kurutma kabini üstünde ortalama 61.40 °C olduğu görülmektedir. Kurutma kabini girişindeki hava sıcaklığının çıkıştaki hava sıcaklığından yüksek olmasının nedeni, üçüncü denemede olduğu gibi ölçüm hatası olduğu düşünülmektedir. Kurutma havası bağıl nemi ise kurutma kabini altında ortalama %08.48 iken kabin üstünde ise ortalama %09.83'dir. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 60°C olarak seçilmiştir. Kabin girişi sıcaklığına bakıldığında yaklaşık 1.23°C'lik bir sapma olduğu görülmektedir. Sıcaklık eğrileri üzerinde belirli aralıklarla merdiven basamağı biçiminde değişimlerin olduğu görülmektedir. Bu değişimlerin nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte, sıcaklık kontrol ünitesindeki kontrol hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.28. Altıncı kurutma denemesinde kurutma kabini giriş ve çıkışında hava sıcaklık ve bağıl nem değişimi

Altıncı denemede kurutma süresi boyunca kurutma havası sıcaklığı kurutma kabini altında ortalama 54°C, kurutma kabini üstünde ise ortalama 49.72°C olduğu görülmektedir. Kurutma havası bağıl nemi ise kurutma kabini altında ortalama %10.62 iken kabin üstünde ise ortalama %13.16'dır. Bu denemede kurutma havası sıcaklığı 50°C olarak seçilmiştir. Kabin girişi sıcaklığına bakıldığında yaklaşık 4°C'lik bir sapma olduğu görülmektedir. Bu sapma, 50°C kurutma sıcaklığında yapılan diğer denemelerde görülen sapmalardan daha yüksek olmuştur. Bu sapmanın merdiven basamağı şeklinde gözlenen ve sebebi tam olarak bilinmeyen artışlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Altı denemeye ait sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde ısıtma ünitesi ve sıcaklık kontrol ünitesinin dışardan müdahale olmadığı sürece (kabin kapısının açılması, vb.) istenilen sıcaklıkta kurutma havası temin ettiği söylenebilir.

Beşinci ve altıncı kurutma denemelerinde ıspanakların anlık nem içeriği ile güvenli depolama nem içeriği (%10) karşılaştırma yapılarak “kurutma bitmiştir” mesajı ekranda görüldüğünde kurutma durdurulmuştur. Labview’de hazırlanan kurutma uygulamasında “Kurutma bitmiştir” mesajı Şekil 4.19’da görülmektedir.



Şekil 4.29. Kurutma uygulamasında “kurutma bitmiştir” mesajı görünümü

Bütün kurutma denemelerinde ağırlık izleme sistemi ve hassas terazi ile ölçülen ağırlık verilerinin karşılaştırılmaları Çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ağırlık izleme sistemi verileri ile hassas terazi verilerinin karşılaştırılması

Deneme No.	Yük Hücresi	Hassas Terazi	Aradaki Fark
1. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 4.287 kg Bitiş : 0.416 kg	Başlangıç: 4 kg Bitiş : 0.578 kg	Başlangıç: + 0.287 kg Bitiş : - 0.162 kg
2. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 4.074 kg 4.Saat : 2.530 kg 8.Saat : 1.384 kg 12.Saat : 0.897 kg 16.Saat : 0.678 kg Bitiş : 0.423 kg	Başlangıç: 4 kg 4.Saat : 2.299 kg 8.Saat : 1.483 kg 12.Saat : 0.980 kg 16.Saat : 0.699 kg Bitiş : 0.531 kg	Başlangıç: + 0.074 kg 4.Saat : + 0.231 kg 8.Saat : - 0.099 kg 12.Saat : - 0.083 kg 16.Saat : - 0.021 kg Bitiş : - 0.108 kg
3. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 4.129 kg Bitiş : 0.390 kg	Başlangıç: 4 kg Bitiş : 0.488 kg	Başlangıç: + 0.129 kg Bitiş : - 0.098 kg
4. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 4.039 kg 4.Saat : 2.590 kg 8.Saat : 1.650 kg 12.Saat : 0.992 kg 16.Saat : 0.576 kg Bitiş : 0.510 kg	Başlangıç: 4 kg 4.Saat : 2.597 kg 8.Saat : 1.558 kg 12.Saat : 0.886 kg 16.Saat : 0.554 kg Bitiş : 0.479 kg	Başlangıç: + 0.039 kg 4.Saat : - 0.007 kg 8.Saat : + 0.092 kg 12.Saat : + 0.106 kg 16.Saat : + 0.022 kg Bitiş : + 0.031 kg
5. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 4.006 kg Bitiş : 0.551 kg	Başlangıç: 4 kg Bitiş : 0.521 kg	Başlangıç: + 0.006 kg Bitiş : + 0.030 kg
6. Kurutma Denemesi	Başlangıç: 3.981 kg Bitiş : 0.523 kg	Başlangıç: 4 kg Bitiş : 0.543 kg	Başlangıç: - 0.019 kg Bitiş : - 0.020 kg

Asılı konumdaki kurutma rafının yapmış olduğu mekanik salınım nedeniyle oluşan dalgalanmalar (ağırlık değişim eğrilerinde görüldüğü gibi) ağırlık izleme sistemi ağırlık verileri ile hassas terazi ağırlık verileri arasında artı veya eksi sapmalara neden olmuştur. Bu sapmaların büyüklükleri, zaman içerisinde değişmiş sabit kalmamışlardır. 4 kg ağırlığına ve % 89.1 (yb) ilk nem içeriğine sahip ıspanak örnekleri güvenli depolama nemine kadar kurutulduklarında (%10-12 yb) istenilen son ağırlıklarının 0.484-0.495 kg arasında olması gerekmektedir. Ağırlık izleme sistemi, 1. ve 2. denemeler için son ağırlığı, istenilen son ağırlık değerleri aralığından daha düşük ölçmesine rağmen, hassas terazi ölçümlerinin sonuçları aralık değerlerinden daha yüksek olmuştur. 3. denemede ise ağırlık izleme sistemi, istenilen son ağırlık değerleri aralığından daha düşük değer ölçerken hassas terazinin verdiği değer istenilen son ağırlık değerleri aralığında olmuştur. Diğer üç ölçümde ise ağırlık izleme sisteminin verdiği son değerler ve hassas terazinin verdiği son değerler istenilen son ağırlık aralığından daha yüksek olmuştur. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, kurutma izleme sisteminin verdiği anlık bağıl nem değerlerinin kurutma işlenmenin sonlandırılma doğrudan kullanılması durumunda ağırlık ölçümünde oluşan salınımların (dalgalanmaların) etkisini ağırlıkların oranlanmasından dolayı çok artırdığından doğru sonuçlar vermeyeceği düşünülmektedir. Kurutma izleme sisteminin verdiği anlık ağırlık ölçümlerinin istenilen son ağırlık değerleri arasında olmasının kriter olarak kullanılması daha doğru ve kararlı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Anlık nem içeriği değerlerini, kurutmayı tamamlama kriteri olarak kullanmak yerine kurutmayı izlemek amacıyla kullanmak daha uygun görülmektedir. Bu sapmaları tamamen gidermek için yük hücresi titreşim sönümlerine montaj kitine birden fazla halka takılabilir. İlave halkanın vereceği başarı, ilave denemelerle gözlenmelidir. Denenebilecek bir başka yaklaşım da kurutucu rafını yük hücresine asmak yerine elektronik bir terazi üzerine konularak ayaklarının zemine basması şeklinde olabilir. Bu durumda, ayaklar kurutucu rafının ve tepsinin ağırlığını taşıyacaklarından kurutucu rafının salınım yapması engellenebilir.

Kurutma denemeleri süresince ıspanaklarda meydana gelen nem kayıpları ve toplam enerji tüketimleri Çizelge 4.4.'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Denemelerde ıspanakların nem kaybı ve enerji tüketimi

Kurutma Denemesi	Ispanağın İlk Ağırlığı (kg)	Toplam Ağırlık Kaybı (kg)	Ispanağın Son Nem İçeriği (%)	Toplam Enerji Tüketimi (kWh)	Kuruma Süreleri	Özgül Enerji Tüketimi (kWh/kg su)
1	4	3.422	24.57	60	17 saat 29 dakika	17.533
2	4	3.469	17.89	66	19 saat 25 dakika	19.025
3	4	3.512	10.65	48	13 saat 41 dakika	13.667
4	4	3.521	08.98	56	17 saat 25 dakika	15.904
5	4	3.479	16.31	54	16 saat 4 dakika	15.521
6	4	3.457	19.70	64	20 saat 33 dakika	18.513

Bütün kurutma denemelerinde kurutucu sistemin toplam harcadığı enerji güç analizörüyle ölçülmüştür. Denemelerde tüketilen elektrik enerji miktarı 48 ile 64 kWh aralığında değişmiştir. Özgül enerji tüketimleri ise 13.667 ile 19.025 kWh/kg su arasında değişmiştir. Kuruma süresinin kısılması enerji tüketimini ve özgül enerji tüketimini azaltmıştır. Ispanakların son nem içeriklerindeki farklılıklar sebebiyle, bazı denemelerde tartım amaçlı olarak kısa süreli kurutma kabini kapısının açılmasının enerji tüketimine olan olumsuz etkisinin varlığı konusunda kesin bir yargıya varılamamıştır. Diğer taraftan, ikinci ve dördüncü denemeler birlikte değerlendirildiğinde her tartımda raflarının yerlerinin değiştirilmesi ıspanaklardan nem kaybını artırdığı için kuruma süresini kısalttığı ve özgül enerji tüketimini azalttığı söylenebilir. Kurutma havası sıcaklığının 50°C'den 60°C'ye çıkarılması da nem kaybını hızlandırarak kuruma süresini kısaltmış ve özgül enerji tüketimini azaltmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kurutma işlemi, çok sayıda faktörün birbiriyle etkileşim halinde olduğu ve birçok fiziksel olayın eş zamanlı gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir. Mümkün olan en az enerji tüketimiyle ve yüksek ürün kalitesiyle en kısa sürede kurutmanın tamamlanması gerekmektedir. Ölçülebilen bütün değişkenlerin kurutma sürecince izlenmesi ve kontrol edilmesi başarılı bir kurutma için zorunludur. Ticari olarak satılan algılayıcılar kullanılarak kurutma sürecinin değişkenlerinin değerleri ölçülebilmektedir. Mevcut veri toplama yazılımları kullanılarak veya kullanıcılar tarafından hazırlanacak çalışmaya özel yazılımlar kullanılarak ise kurutma süreci izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Kurutma işlemi süresince takip edilmesi gereken en önemli değişken kurutulan ürünün nem içeriğidir. Kurutma işleminin istenilen ürün son nem içeriğinden daha düşük nem içeriğine kadar kurutulması aşırı kurutma olarak bilinmektedir. Aşırı kurutma enerji tüketimini artırmakta, kurutma süresini uzatarak kurutucu kapasitesini düşürmekte ve elde edilen son ürün miktarını da azalttığı için ticari kayıplara neden olmaktadır. Sıcak havalı kurutucularda kurutma süresince ürünlerin anlık nem takip edilmesi için ağırlık izleme sisteminin geliştirilmesi bu çalışmanın amacı olmuştur.

Ağırlık izleme sisteminin oluşturulması için veri toplama donanımı ve Kurutma Sürecini İzleme Uygulaması (KSİU) geliştirilmiştir. Geliştirilen veri toplama sisteminde ağırlıkların ölçümü için bir adet yük hücresi, kurutucu kabineye giren ve çıkan kurutma havasının sıcaklığını ve bağıl nemini ölçmek için iki adet sıcaklık/bağıl nem algılayıcısı kullanılmıştır. Yük hücresi ve sıcaklık/bağıl nem algılayıcılarından gelen elektrik sinyalleri sinyal dönüştürücü ve veri toplama kartından geçtikten sonra bilgisayara aktarılmıştır. Labview programında hazırlanan KSİU, ürün anlık ağırlık verileri, kurutma havası sıcaklık/bağıl nem değerlerinin verilerini doğrudan, eş zamanlı olarak gelen anlık ağırlık verisini kullanarak ürün anlık nem içeriğini de hesaplayarak izleme ekranından kullanıcıya sunmuştur. Anlık nem içeriği değerlerinin hesaplanabilmesi için kullanıcı tarafından ürün ilk nem içeriğinin izleme ekranındaki kutucuğa girmesi gerekmiştir. Kullanıcı istediği son içeriği de izleme ekranından bir başka kutucuğa girerek, ürün anlık nem içeriği istenen son nem içeriğine eşit veya düşük olduğunda “Kurutma Tamamlanmıştır” diye uyarı alabilmiştir.

Geliştirilen ağırlık izleme sisteminin etkinliğinin belirlenmesi için 6 kurutma denemesi yapılmıştır. Denemeler esnasında kurutma tepsisi ve rafları yük hücrelerine asıldığından kurutma havasının akışı esnasında kurutma tepsisi ve rafları salınım hareketi yapmış ve ağırlık değişim eğrileri üzerinde titreşimler (dalgalanmalar) meydana gelmiştir. Bu dalgalanmaların genliği kurutmanın sonuna doğru ürün ağırlığı azaldığı için daha da artmıştır. Yük hücresi, titreşim sönümlenme montaj kitiyle birlikte kullanıldığında bu dalgalanmaların genliği çok küçülmüştür. Ağırlık verilerindeki dalgalanmalar, anlık nem içeriği verilerinde çok daha büyük dalgalanmalara neden olmuştur. Titreşim sönümlenme montaj kitinin kullanılmadığı denemelerde kurutmanın sonlarına doğru anlık nem değerlerindeki değişimler çok abartılı hale gelmiş ve eksi anlık nem değerleri görülmüştür. Titreşim sönümlenme kiti kullanılarak kurutma denemelerinde ürün anlık ağırlık değerleri ve anlık nem içeriği değerleri, bu çalışmada geliştirilen sistemle izlenebilir. Kurutma işleminin sonlandırılmasında ise kurutmanın sonlarına değişkenliği çok arttığı için anlık nem değerleri kriter olarak kullanılmamalıdır. Kurutmanın sonlandırılması için çok daha kararlı olan ağırlık değerleri kullanılabilir. Ölçülen anlık ağırlık değerleri istenilen son nem içeriği aralığına karşılık gelen son ağırlık değerleri arasında kaldığında kurutma işlemi sonlandırılabilir. Hesaplanan anlık nem içeriği değerleri kurutmayı sonlandırma kararını almada kullanmadan sadece izleme amacıyla kullanılabilir.

Ağırlık ölçümlerinde dalgalanmayı tamamen kaldırmak için farklı yaklaşımlar denebilir. Denenebilecek yaklaşımların bir tanesi titreşim sönümlenme montaj kitindeki halka sayısını artırmak olabilir. Mevcut denemelerde titreşim sönümlenme kitindeki halka yük hücresi ile kurutucu tavanı arasındaki bağlantıda kullanılmıştır. İkinci halksa ise yük hücresi ile kurutma rafı arasındaki bağlantıda kullanılabilir. Denenecek ikinci yaklaşımda ise kurutma rafını ve tepsilerini yük hücrelerine asmak yerine tasarlanacak bir elektronik baskül üzerine yerleştirilebilir. Bu durumda baskülün bütün ayaklarına yük hücresi yerleştirilmesi gerekeceğinden dört adet yük hücresi kullanılması gerekli olacaktır. Yük hücrelerinin ölçtüğü değerler bilgisayarda oluşturulacak bir yazılımla toplanarak ürün ağırlığı hesaplanabilir.

6. KAYNAKLAR

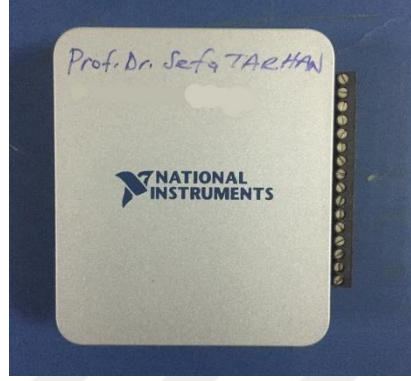
- Alibas, İ., ve Okursoy, R., 2012. Karalahana (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), pazı (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*) ve Ispanak (*Spinacia oleracea* L.) yapraklarının bazı teknik özellikleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2012, 26 (1), 39-48.
- Anonim, 2001. *Data Acquisition and Control Handbook*. Keithley Instrumens Inc., p, USA.
- Ayaz, M., Dikmen, E., ve Şahin Şencan, A., 2016. Isı pompalı vakumlu kurutma fırınında tıbbi bitkilerin kurutulması ve kurutma parametrelerinin araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 6 (1), 1-11.
- Bennamoun, L., Chen, Z., ve Afzal, M.T., 2016. Microwave drying of wastewater sludge: Experimental and modeling study. *Drying Technology*, Vol. 34, No. 2, 235-243.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., ve Doğan, H., 2007. Isı pompalı bir kurutucuda kerestelerin kurutma süresinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4), 847-854.
- Chen, H., Hernandez, C.E. ve Huang, T.C., 2005. A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer. *Solar Energy*, 78 (2005), 97-103.
- Correa-Hernando, E., Arranz, F.J., Diezma, B., Jimenez, H.T., Robla, J.I., Ruiz-Garcia, L., Garcia-Hierro, J., Barreiro, P., ve Valero, C., 2010. Development of smart sensors for the supervision of a solar dryer: agro-products dehydration application. In *International Conference on Agricultural Engineering*, Clermont-Ferrand, France, June 8– August 8, 2010.
- Dikmen, E., Şahin Şencan, A., ve Yakut, A.K., 2012. Deneysel bir kurutma sistemi tasarımı ve çalışma parametrelerinin incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 32 (2), 81-88.
- Doymaz, İ., 2009. Thin-layer Drying of Spinach Leaves in a Convective dryer. *Journal of Food Process Engineering* 32, 112–125.
- Emilio, M.D.P., 2013. *Fundamentals of Data Acquisition Systems*. Springer Science and Business Media, p, New York.
- Ertuğrul, M., Tarhan, S. 2017. Farklı Kurutma Havası Sıcaklık Profillerinin Melissa (*Melissa officinalis* L.) Bitkisinin Kuruma Kinetiği ve Enerji Tüketimine Etkisi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. Cilt: 6, 1-10.
- Gül, H., 2017. Sıcak Havalı Kurutucularda Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Yeni Bir Otomasyon Sisteminin Geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat.
- Günhoş, M., 1990. Veri Toplama Sistemleri. *Elektrik Mühendisliği*, 374, 141-145.
- Li, Z., Raghavan, G.S.V. ve Wang, N., 2010. Carrot volatiles monitoring and control in microwave drying. *LWT-Food Science and Technology*, 43 (2010), 291-297.
- Mavi, A., 2012. Herkes için Labview. Pegem Akademi, 411, Ankara.
- Menlik, T., Özdemir, M.B. ve Kirmaci, V., 2010. Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 37 (2010), 7669-7677.
- Mujumdar, A.S., 2011. Classification and selection of dryers. *Industrial Drying Principles and Practice Lecture Notes*. Eds: S.V. Jangam ve A.S. Mujumdar.

- Nadian, M.H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., ve Mohtasebi, S.S., 2015. Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 94 (2015), 263-274.
- Pedreschi, F., Segtnan, V.H., ve Knutsen, S.H., 2010. On-line monitoring of fat, dry matter and acrylamide contents in potato chips using near infrared interactance and visual reflectance imaging. *Food Chemistry*, 121 (2010), 616-620.
- Popov, A.M., ve Labutin, T.A., 2011. Signal recording system based on LabVIEW virtual instrument using a multichannel high speed ADC. *Measurement Techniques*, Vol. 54, No. 2, May, 2013-2018.
- Querikiol, E.M., ve Taboada, E.B., 2018. Drying kinetics of mango byproducts in a greenhouse-type solar dryer using a wireless weighing scale. *International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 22 (2018)*, pp. 15933-15943.
- Su, Y., Zhang, M., ve Mujumdar, A.S., 2015. Recent developments in smart drying technology. *Drying Technology*, 33 (2015), 260-276.
- Taylor, H.R., 1997. *Data Acquisition for Sensor Systems*. Springer Science and Business Media, p, New York.
- Toledo, M.E.A., Ueda, Y., Imahori, Y., ve Ayaki, M., 2003. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biology and Technology*, 28 (1), 47-57.
- Yağcıoğlu, A., 1999. *Drying Technique of Agricultural Products*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 536.
- Zhang L., Cui H., Li H., Han F., Zhang Y., ve Wu W., 2013. Parameters Online Detection and Model Predictive Control During The Grain Drying Process. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 924698, 7.

7. EKLER

EK-1

Veri Toplama Kartı:



NI USB 6000 Veri Toplama Kartı Teknik Özellikleri	
Analog Giriş Sayısı	8, Single-ended
Dijital Giriş Sayısı	4
Giriş Çözünürlüğü	12 bits
Maksimum Örnekleme Sayısı	10 kS/s
Zamanlama Çözünürlüğü	125 ns
Zamanlama Doğruluğu	100 ppm gerçek örnekleme hızı
Giriş Aralığı	±10 V
Çalışma Voltajı	±10 V
Giriş Empedansı	>1 MΩ

24 V DC Güç Kaynağı:



Polaxtor Metal Kasa Adaptör Teknik Özellikleri	
Kanallar	3 x Com / 3 x +V
Çalışma Sıcaklığı	-10°C ~ +70°C
Çalışma Nem Oranı	20...80%RH
Voltaj	24 V
Akımı	20 Amper / 480 Watt
Çalışma Gerilimi	220 V AC

Trotec T210 Ölçüm Cihazı:



Trotec T210 Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçer Teknik Özellikleri	
Hava Sıcaklığı Ölçüm Aralığı	-20°C ~ +50°C
Hava Sıcaklığı Çözünürlük	0.1 °C
Hava Sıcaklığı Hassasiyet	± 0.4 °C
Bağıl Nem Ölçüm Aralığı	0...100%RH
Bağıl Nem Çözünürlük	0.1 %RH
Bağıl Nem Hassasiyet	± 2 %RH
Çalışma Sıcaklığı	0°C ~ +50°C

Hassas Terazi:



Arnica Balanza 4150 Hassas Terazi Teknik Özellikleri	
Ölçüm Tekniği	Dijital
Tartı Tipi	Kaseli
En Düşük Ölçüm Miktarı	1 g
En Yüksek Ölçüm Miktarı	5 kg
Ölçü Birimleri	kg, g, ml, fl.oz

S-Tipi Yük Hücresi Algılayıcısı:



S-Tipi Yük Hücresi Algılayıcısı Teknik zellikleri	
Kapasite	50 KG
Hassasiyet	2.0 ± 0.003 mV/V
Doğruluk Sınıfı	C2~C3
Sıfır Dengesi	± 1%F.S.
TCO	± 0.02 %F.S./10°C
TC Span	± 0.02 %F.S./10°C
Giriş Direnci	400 ± 20 Ω
Çıkış Direnci	352 ± 3 Ω
İzolasyon Direnci	≥ 5000 MΩ
Sıcaklık (Kompanse)	-30°C ~ +40°C
Çalışma Sıcaklığı	-30°C ~ +70°C
Maksimum Güvenli Yükleme	120%F.S.
Doğru Tartım Limiti	150%F.S.
Tavsiye Edilen Akım	10~12 VDC
Maksimum Akım	15 VDC
Koruma Sınıfı	IP65 (50 KG~1 TON)
Gövde Malzemesi	Paslanmaz Çelik
Kablo Çapı	5 mm
Kablo Uzunluğu	3 m

Loadcell Sinyal Dönüştürücü:



PD-30 Panel Tip Loadcell Sinyal Dönüştürücü	
Loadcell Besleme	10 VDC
Bağlanabilir 350 Ω Loadcell Sayısı	4 Adet
Minimum Loadcell Giriş Direnci	80 Ω
Ölçüm Aralığı	0-40 mV
A/D Çevirici Çözünürlüğü	24 Bit
Gösterge Çözünürlüğü	100.000 div.
Taksimat Başına En Düşük Giriş Gerilimi	0.2 μ V
Loadcell Sinyal Yazılım Filtresi	255 Kademe
Örnekleme Hızı	100 Hz
Çalışma Sıcaklığı	-10°C ~ +60°C

Sıcaklık ve Bağıl Nem Algılayıcı:



Gentek HT-2 Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçer Teknik Özellikleri	
Besleme	15 VDC + %10
Çalışma Sıcaklığı	0°C ~ +50°C
Ölçme Aralığı (Sıcaklık)	-40°C ~ +120°C
Ölçme Aralığı (Bağıl Nem)	0...100%RH
Çözünürlük (Sıcaklık)	0.1°C
Çözünürlük (Bağıl Nem)	0.1%RH
Doğruluk (Sıcaklık)	\pm 0.5°C
Doğruluk (Bağıl Nem)	\pm 2 %RH

Sayısal Kontrol Cihazı:



Elimko E-210 Sayısal Kontrol Cihazı Teknik Özellikleri	
Giriş Tipleri	Termokupl : B, E, J, K, L, N, R, S, T, U Rezistans Termometre : Pt-100 Akım : 0-20 mA, 4-20 mA (Lineer) Gerilim : 0-50 mV, 0-1 V, 0.2-1 V (Lineer)
Kontrol Çıkışı	Röle : SPST-NO 250V AC, 5A Akım : 0-20 mA, 4-20 mA (İzole) Pulse : 24V DC, 25 mA (SSR için)
Alarm Çıkışları	Röle : SPST-NO 250V AC, 5A
Gösterge Tipi	2x4 dijit 14 mm 7 parçalı led gösterge
Doğruluk Sınıfı	Termokupl : ± 1 dijit maks. Pt-100 : ± 1 dijit maks. Termokupl : $\pm \%0.5$ FS ± 1 dijit maks.
Analog Sayısal Çevirici	16 bit
Sayısal Analog Çevirici	12 bit
Kontrol Tipi	Açık/Kapalı, PID
Çalışma Gerilimi	85-265 V AC / 85-375 V DC 20-60 V AC / 20-85 V DC
Güç Tüketimi	7W (10VA)
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	-10°C ~ +55°C (Yoğunlaşma ve Buzlanma Olmadan)
Depolama Sıcaklığı	-25°C ~ +65°C (Yoğunlaşma ve Buzlanma Olmadan)
Rölelerin Mekanik Ömrü	100.000.000 açma-kapama
Rölelerin Elektrik Ömrü	>1.000.000 açma-kapama (1/10 yükte)
Kalıcı Hafıza	EEPROM (Maksimum yazma silme: 100.000 kere)
Ağırlık	430 gr

Elektrik Motoru (Fan):



Elektrik Motoru (Fan) Teknik Özellikleri	
Tip	GT-30
Volt/Gerilim	380/50
Güç	110 Watt
Debi	1700 m ³ /h
Devir	1400 d/dk
Akım	0.36 A

Elektrikli Isıtıcı (Rezistans):



Elektrikli Isıtıcı (Rezistans) Teknik Özellikleri	
Tip	Serpantinli, Üç fazlı
Maksimum Isıtma Gücü	8000 Watt
Dış Muhafaza	Paslanmaz ve Pirinç
Rezistans Teli	NiCr 8020

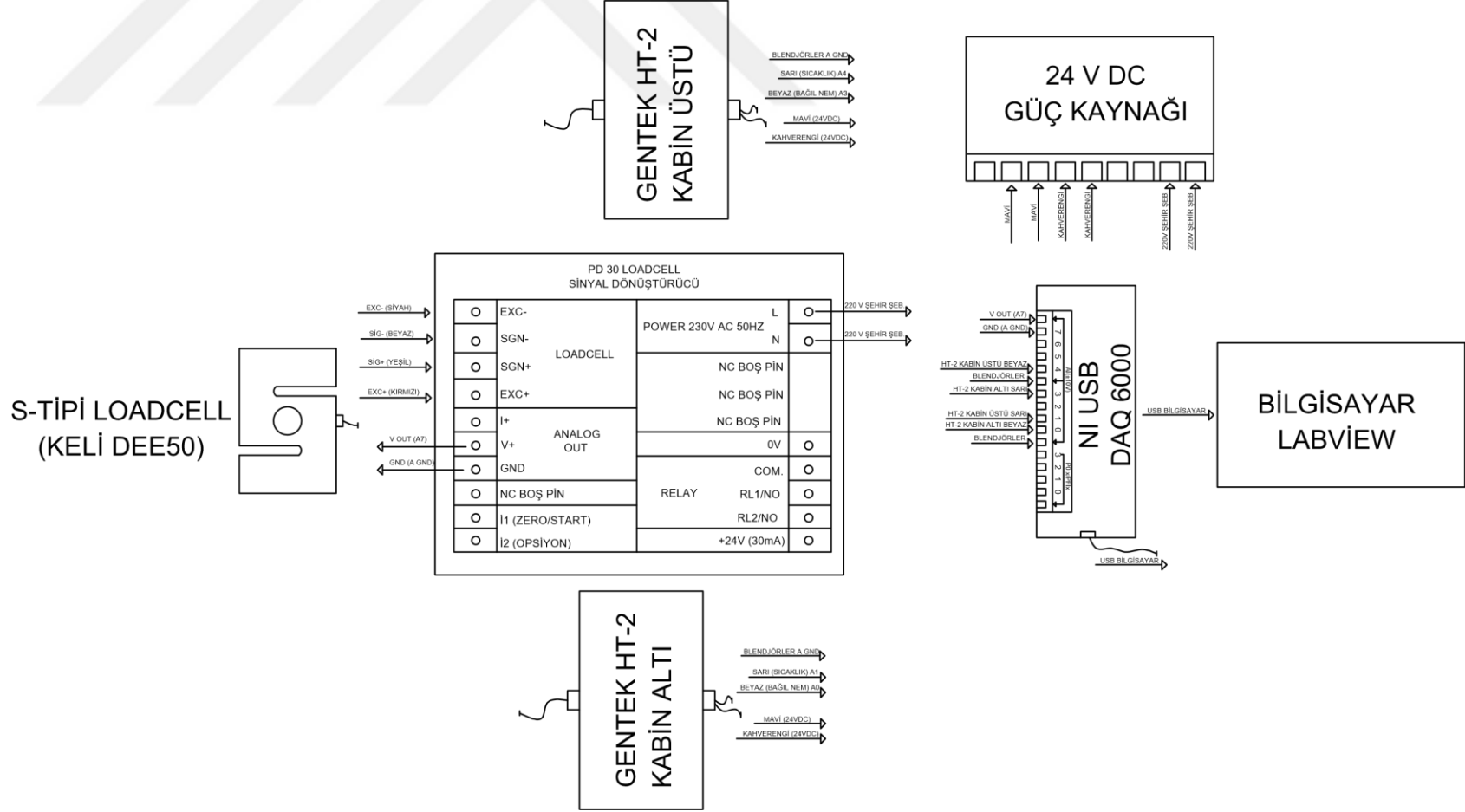
Anemometre:



Anemometre Teknik Özellikleri	
Hava Hızı Ölçüm Aralığı	0.0 – 45.0 m/s
Hava Hızı Ölçüm Çözünürlüğü	0.01 m/s
Hava Hızı Ölçüm Hassasiyeti	$\pm 3\% \pm 0.3$ m/s
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	0°C ~ +45°C
Sıcaklık Ölçüm Çözünürlüğü	0.2 °C
Sıcaklık Ölçüm Hassasiyeti	± 1 °C
Çalışma Sıcaklığı	0°C ~ +50°C
Çalışma Bağıl Nemi	0...80%RH

EK-2

Veri Toplama Kartı ve Algılayıcıların Bağlantı Şeması:



EK-3

Deneme No: Birinci Deneme (Kurutma Süresi Boyunca Kabin Kapısı Kapalı)

Deneme Tarihi: 26/04/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 50 °C

Deneme Başlangıç Saati: 07:30

Ürün Son Nem İçeriği: %24,57

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %40

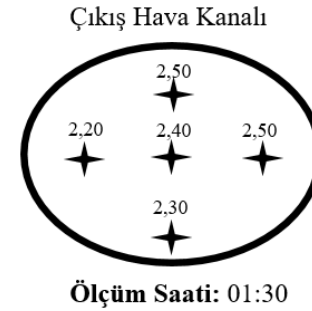
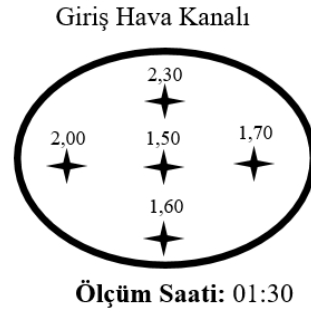
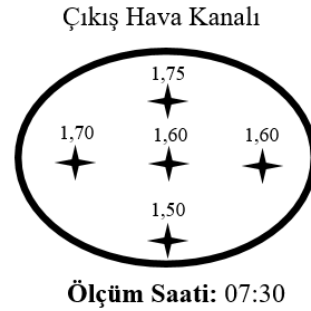
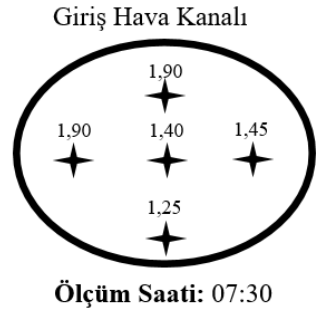
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPSİ NO	Tartım Saati 07:30	Tartım Saati 01:30
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.140 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.167 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.172 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.099 kg
TOPLAM	4 kg	0.578 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 07:30	Ölçüm Saati 09:30	Ölçüm Saati 11:30	Ölçüm Saati 13:30	Ölçüm Saati 15:30	Ölçüm Saati 17:30	Ölçüm Saati 19:30	Ölçüm Saati 21:30	Ölçüm Saati 23:30	Ölçüm Saati 01:30
Ortam Sıcaklık (°C)	18	18,2	18,9	19,5	20,1	20,8	20,5	20,6	21	21
Ortam Bağıl Nem (%RH)	50,7	47,4	48,5	48,1	48,6	42,1	43,7	45	44	45,2
Güç Analizörü (kWh)	0	6	12	19	26	33	40	47	54	60

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



Deneme No: İkinci Deneme (Açık)

Deneme Tarihi: 27/04/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 50 °C

Deneme Başlangıç Saati: 08:30

Ürün Son Nem İçeriği: %17,89

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %40

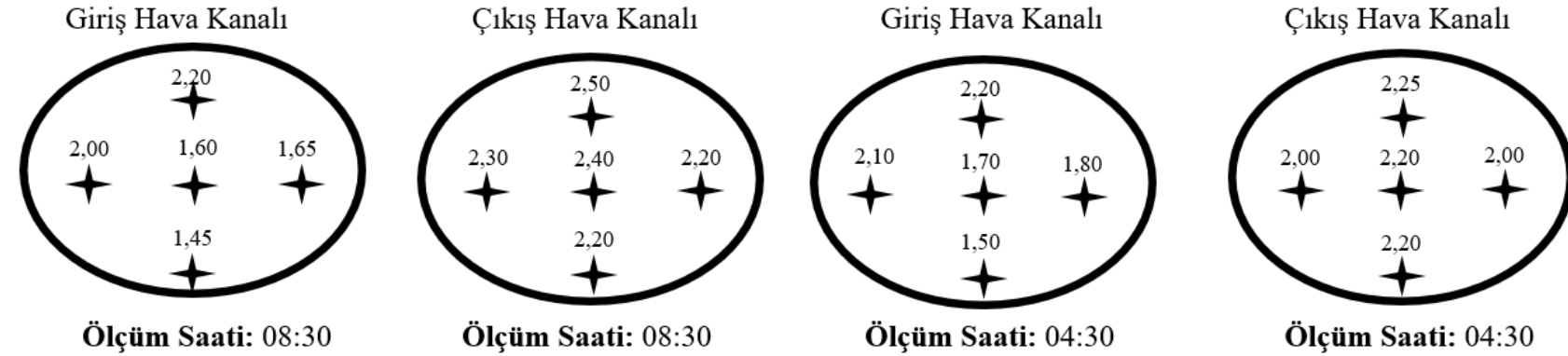
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPSİ NO	Tartım Saati 08:30	Tartım Saati 12:30	Tartım Saati 16:30	Tartım Saati 20:30	Tartım Saati 00:30	Tartım Saati 04:30
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.609 kg	0.403 kg	0.270 kg	0.188 kg	0.137 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.635 kg	0.439 kg	0.302 kg	0.216 kg	0.153 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.610 kg	0.389 kg	0.246 kg	0.167 kg	0.129 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.445 kg	0.252 kg	0.162 kg	0.128 kg	0.112 kg
TOPLAM	4 kg	2.299 kg	1.483 kg	0.980 kg	0.699 kg	0.531 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 08:30	Ölçüm Saati 10:30	Ölçüm Saati 12:30	Ölçüm Saati 14:30	Ölçüm Saati 16:30	Ölçüm Saati 18:30	Ölçüm Saati 20:30	Ölçüm Saati 22:30	Ölçüm Saati 00:30	Ölçüm Saati 02:30	Ölçüm Saati 04:30
Ortam Sıcaklık (°C)	19,9	20,1	20,6	20,9	21	21,3	21,2	21,1	21,4	21,4	21,3
Ortam Bağıl Nem (%RH)	50	51,7	48,2	46,5	46,4	47,6	47,6	48,5	46,4	44,5	45
Güç Analizörü (kWh)	0	6	13	19	27	34	40	46	53	60	66

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



Deneme No: Üçüncü Deneme (Kurutma Süresi Boyunca Kabin Kapısı Kapalı)

Deneme Tarihi: 28/04/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 60 °C

Deneme Başlangıç Saati: 05:30

Ürün Son Nem İçeriği: %10,65

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %20

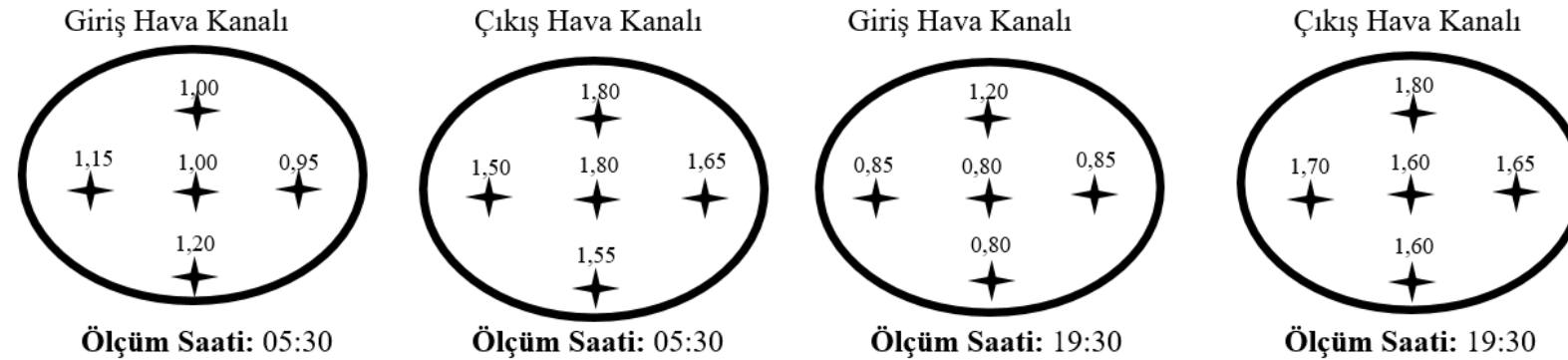
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPŞİ NO	Tartım Saati 05:30	Tartım Saati 19:30
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.105 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.153 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.123 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.107 kg
TOPLAM	4 kg	0.488 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 05:30	Ölçüm Saati 11:30	Ölçüm Saati 13:30	Ölçüm Saati 15:30	Ölçüm Saati 17:30	Ölçüm Saati 19:30
Ortam Sıcaklık (°C)	21,6	21,7	22,1	22,2	22,7	22,4
Ortam Bağıl Nem (%RH)	45,8	52,1	48,2	46,6	43,4	43,7
Güç Analizörü (kWh)	0	20	27	34	41	48

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



Deneme No: Dördüncü Deneme (Açık ve Her Tartım Saatinde Tepsi Yer Değişimi)

Deneme Tarihi: 29/04/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 50 °C

Deneme Başlangıç Saati: 07:45

Ürün Son Nem İçeriği: %08,98

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %40

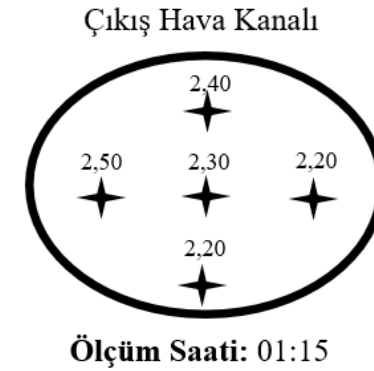
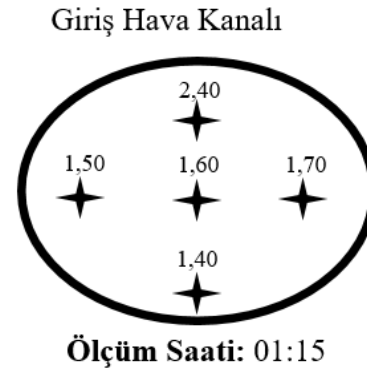
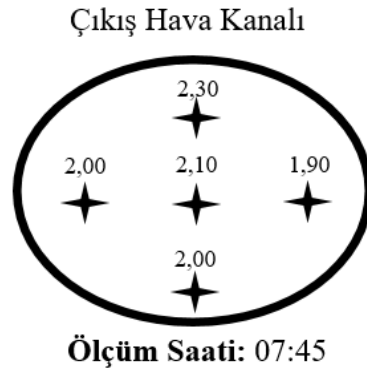
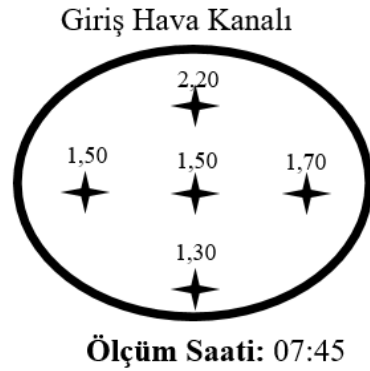
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPSİ NO	Tartım Saati 07:45	Tartım Saati 11:45	Tartım Saati 15:45	Tartım Saati 19:45	Tartım Saati 23:45	Tartım Saati 01:15
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.682 kg	0.321 kg	0.177 kg	0.109 kg	0.102 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.700 kg	0.464 kg	0.242 kg	0.150 kg	0.126 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.642 kg	0.409 kg	0.246 kg	0.154 kg	0.129 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.573 kg	0.364 kg	0.221 kg	0.141 kg	0.125 kg
TOPLAM	4 kg	2.597 kg	1.558 kg	0.886 kg	0.554 kg	0.479 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 07:45	Ölçüm Saati 09:45	Ölçüm Saati 11:45	Ölçüm Saati 13:45	Ölçüm Saati 15:45	Ölçüm Saati 17:45	Ölçüm Saati 19:45	Ölçüm Saati 21:45	Ölçüm Saati 23:45	Ölçüm Saati 01:15
Ortam Sıcaklık (°C)	21,4	22,1	22,8	23,1	24,1	24,1	23,1	23	23,1	23
Ortam Bağıl Nem (%RH)	47,6	48	40,3	38,5	33,6	35,3	38	39,9	41,7	40
Güç Analizörü (kWh)	0	6	13	19	27	33	39	45	51	56

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



Deneme No: Beşinci Deneme (Kurutma Süresi Boyunca Kabin Kapısı Kapalı)

Deneme Tarihi: 01/05/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 60 °C

Deneme Başlangıç Saati: 06:45

Ürün Son Nem İçeriği: %16,31

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %20

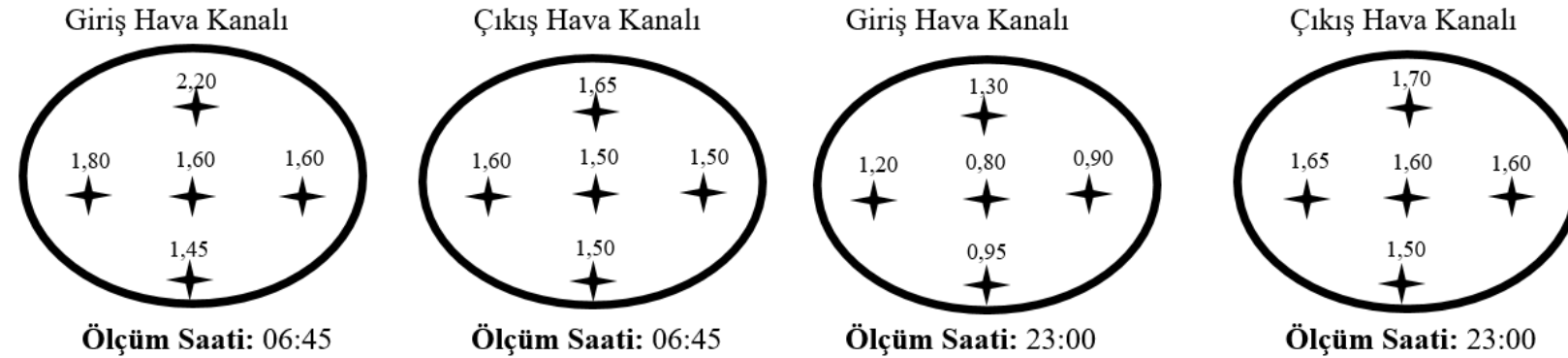
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPŞİ NO	Tartım Saati 06:45	Tartım Saati 23:00
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.104 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.147 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.168 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.102 kg
TOPLAM	4 kg	0.521 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 06:45	Ölçüm Saati 08:45	Ölçüm Saati 10:45	Ölçüm Saati 12:45	Ölçüm Saati 14:45	Ölçüm Saati 16:45	Ölçüm Saati 18:45	Ölçüm Saati 20:45	Ölçüm Saati 22:45	Ölçüm Saati 23:00
Ortam Sıcaklık (°C)	21,4	21,5	22,2	22,5	22,9	23,6	23,3	23,4	23,4	23,2
Ortam Bağıl Nem (%RH)	46,5	48,3	43,7	41,5	39,6	31,8	34	37	38,1	38
Güç Analizörü (kWh)	0	6	13	20	26	33	40	47	53	54

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



Deneme No: Altıncı Deneme (Kurutma Süresi Boyunca Kabin Kapısı Kapalı)

Deneme Tarihi: 01-02/05/2019

Ürün İlk Nem İçeriği: %89,1

Kurutma Sıcaklığı: 50 °C

Deneme Başlangıç Saati: 23:45

Ürün Son Nem İçeriği: %19,70

Kurutucu Tipi: Sıcak Havalı Kabin

Kurutulan Ürün: Ispanak

Çalışılan Ürün Ağırlığı: 4 kg

Fan Hızı: %40

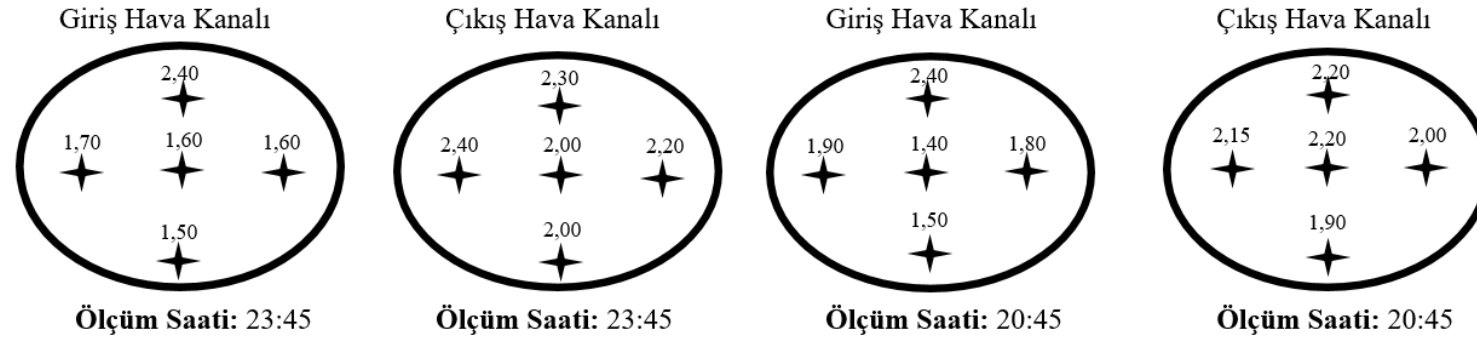
Ağırlık Çizelgesi

KURUTMA TEPSİ NO	Tartım Saati 23:45	Tartım Saati 20:45
1.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.153 kg
2.Tepsi (1.665 kg)	1 kg	0.153 kg
3.Tepsi (1.624 kg)	1 kg	0.162 kg
4.Tepsi (1.641 kg)	1 kg	0.075 kg
TOPLAM	4 kg	0.543 kg

Algılayıcılar Çizelgesi

VERİLER	Ölçüm Saati 23:45	Ölçüm Saati 09:45	Ölçüm Saati 11:45	Ölçüm Saati 13:45	Ölçüm Saati 15:45	Ölçüm Saati 17:45	Ölçüm Saati 19:45	Ölçüm Saati 20:45
Ortam Sıcaklık (°C)	24,1	23,8	24,2	23,8	23,9	24,3	24,4	24,1
Ortam Bağıl Nem (%RH)	37,2	36,9	40	43,2	41,9	40,1	44,1	47,2
Güç Analizörü (kWh)	0	30	37	43	49	56	62	64

Hava/Akış Hızı Ölçümleri



EK-4

Bazı Denemelerdeki Kurutma Başlangıcı ve Bitimindeki Ispanakların Durumu

1. Kurutma Denemesi



Ispanakların kurutma başlangıcındaki durumu



Ispanakların kurutma sonundaki durumu

3. Kurutma Denemesi



Ispanakların kurutma başlangıcındaki durumu



Ispanakların kurutma sonundaki durumu

5.Kurutma Denemesi



Ispanakların kurutma başlangıcındaki durumu



Ispanakların kurutma sonundaki durumu

6. Kurutma Denemesi



Ispanakların kurutma başlangıcındaki durumu



Ispanakların kurutma sonundaki durumu

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Burak Ergüneş

Doğum Tarihi: 04/12/1991

E-mail: burakergunes@hotmail.com

Telefon: 0 541 587 21 39

İş hayatına ilk olarak lisans eğitimimde yarı zamanlı olarak tasarım ve imalat aşamalarında yenilikçi çözümler geliştiren bir firmada başladım. Profesyonel iş hayatıma TSE tarafından belirlenen standartlar doğrultusunda mekaniksel ve elektriksel sistemlerin testlerini yapmak üzere kontrol mühendisi olarak başladım. Yeni teknolojilere çok çabuk adapte olabilir, sürekli yeni fikirler ve çözümler arayarak takım çalışmasında etkin görev alabilirim.

Eğitimler

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat

Mekatronik Mühendisliği, Yüksek Lisans, Ocak 2017 – Eylül 2019

Tez Konusu: Sıcak Havalı Kurutucular İçin Ağırlık İzleme Sistemi Geliştirilmesi

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

İş Sağlığı ve Güvenliği, Tezsiz Yüksek Lisans, Temmuz 2017 – Temmuz 2018

Erciyes Üniversitesi, Kayseri

Makine Mühendisliği, Lisans Programı, Eylül 2011 - Haziran 2016

Tez Konusu: Yürüyen Merdiven Tasarımı ve Analizleri