

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN KURUTULMASINA
UYGUN LABORATUVAR TİPİ RAFLI KURUTUCUNUN
OTOMASYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Hilmi ARIK

**Danışman
Doç. Dr. Serkan BOYAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2014**

© 2014 [Hilmi ARIK]

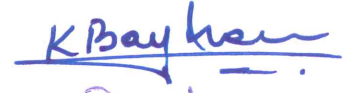
TEZ ONAYI

Hilmi ARIK tarafından hazırlanan "**Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Uygun Laboratuvar Tipi Rafı Kurutucunun Otomasyon Sisteminin Geliştirilmesi ve Performansının Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Tarım Makineleri Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman Doç. Dr. Serkan BOYAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. A. Kamil BAYHAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Yrd. Doç. Dr. Erkan DİKMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hilmi ARIK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Materyal	15
3.1.1 Laboratuvar Tipi Rafli Kurutucu	15
3.1.2 Sürekli Tartım ve Kayıt Sistemi	17
3.1.3 Hava Hızı Ölçüm Cihazı	18
3.1.4 Sıcaklık ve Nem Ölçüm Sistemi	19
3.1.5 Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	20
3.1.6 Clenvenger Cihazı	21
3.1.7 Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi	22
3.1.8 Renk Ölçüm Cihazı	24
3.2 Yöntem	25
3.2.1 Laboratuvar tipi rafli kurutucunun otomasyon sisteminin geliştirilmesi	25
3.2.2 Kurutucu kontrol sistemi yazılım arayüzü geliştirme çalışmaları ..	27
3.2.3 Kurutma denemeleri	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1 Sıcaklık-nem ve ağırlık ölçüm sistemleri elektronik devre ve yazılım geliştirme	31
4.2 Biberiye Kurutma Denemeleri	34
4.3 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (42 °C)	38
4.4 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (45 °C)	41
4.5 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (48 °C)	45
4.6 Hava hızı ölçümleri	48
4.7 Renk Ölçüm Sonuçları	48
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	62

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN KURUTULMASINA UYGUN LABORATUVAR TİPİ RAFLI KURUTUCUNUN OTOMASYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Hilmi ARIK

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Serkan BOYAR

Araştırma kapsamında tıbbi aromatik bitkilerin kurutulmasına uygun laboratuvar tipi raflı kurutucuya ait sıcaklık ve nem ölçüm sisteminde sıcaklık sensörleri ve veri aktarım için 2 ayrı devre tasarlanmıştır. Sıcaklık ve nem ölçüm donanımı ile tartım sistemi için 2 ayrı yazılım hazırlanmıştır. Ölçülen veriler bilgisayar ortamına aktarılmakta ve görsel olarak izlenebilmektedir.

Sistem testleri için biberiye bitkisi kurutma materyali olarak seçilmiştir. Kurutma denemeleri 42, 45 ve 48 °C sıcaklık set değerlerinde yapılmış ve otomasyon sistemi elemanları ve yazılımın başarılı bir şekilde çalıştığı belirlenmiştir. Yazılım yoluyla 4 rafın nemli hava çıkışından ölçülen nem değerleri ortalaması hesaplanmakta ve kurutma işlemi otomatik olarak sonlandırabilmektedir.

Kurutucunun 45 °C sıcaklık set değerinde ortalama güç tüketimi belirlenmiştir. Buna göre ısıtıcı devreye girdiği ve fan ile birlikte çalışması halinde 7,61 A akım değerinde, 3,16 KW güç tüketimi gerçekleşmektedir.

Kurutma sıcaklıklarına göre özgül enerji tüketimleri incelendiğinde, uzaklaştırılan 1 kg su miktarı için ortalama 5,70 kWh ve 1 kg kuru ürün üretmek için ise ortalama 5,71 kWh enerji tüketilmektedir.

Biberiye kurutması, 42, 45, 48°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla, 16.12, 18.00 ve 20.05 saatte tamamlanmıştır. Sıcaklığın artışı ile kuruma süresi kısalmaktadır. Biberiye kurutma denemelerinde görüldüğü gibi RAF II ve RAF III diğer raflara göre daha hızlı kurumaktadır.

Kurutulan biberiye örneklerinin yağ miktarı incelendiğinde, taze biberiyeye göre kuru biberiyelerde 42 °C'de %2,74, 45 °C'de %7,31 ve 48 °C'de ise %5,02 yağ kaybı olduğu belirlenmiştir.

Kurutulan biberiyeler ile taze biberiye arasındaki renk değerlerini değerlendirdiğimizde açıklık-koyuluk göstergesi olan L* değerinin kurutma

ile azaldığı, kırmızılık düzeyi göstergesi olan a^* değerinin arttığı ve sarılık derecesi b^* değerinin de azaldığı belirlenmiştir.

Kurutma sonlandırma nem değerinin en düşük nemin görüldüğü raftan başlayarak uyarım yapacak şekilde geliştirilmesi kurutucu etkinliğini artıracaktır. Bu nedenle, kurutucunun raflarının birbirinden bağımsız kontrolünün yapılması için yeni bir elektronik devre tasarımı ve kontrol sisteminin kurulması yararlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Biberiye, Kurutma, Otomasyon, , Rafli kurutucu

2014, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM OF LABORATORY TYPE SHELVES DRYER FOR MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS AND DETERMINATION OF ITS PERFORMANCE

Hilmi ARIK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Agricultural Machinery**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan BOYAR

The scope of this research thesis includes development of three different circuit design; two identical circuit design for measurement of temperature and one circuit design for data acquisition of lab scale shelf dryer on drying of medicinal and aromatic plants. Therefore 2 different software programs were developed for (i) temperature and humidity hardware and (ii) online weighing recording unit. Measured data can be effectively transferred and monitored to PC.

Rosemary was chosen as the test material for testing of the software. Drying tests were done at 42, 45 and 48 °C temperature set points. It has been determined that both automation hardware and the software were successful. Software is able to compute mean values of humid exhaust air from 4 shelves and end drying process automatically.

In addition mean power consumption of dryer set at 45 °C was determined. According to the results at the condition of both heater and fan are on, 3.16 kW power consumption at current value of 7.61 A was recorded.

Considering the specific energy consumption related to the drying temperature, the results showed that 5.70 kWh energy is required for removing of 1 kg of water and similarly 5.71

Drying of rosemary were completed at 16.12, 18.00 and 20.05 hours for temperature set points 42, 45, 48 ° C respectively. Increase in temperature resulted to decrease of drying time. Rosemary drying experiment showed that materials at SHELF II and SHELF III dries faster than other materials located at the other shelves.

Rosemary essential oil quantity of the dried sample showed that, dried rosemary had essential oil loss: 2.74% at 42 °C; 7.31 % at 45 °C and 5.02 % at 48 ° C.

The color values between fresh rosemary and dried rosemary indicated by L^* value which is light-dark indicator have showed that L^* value was decreased, the redness level indicator a^* value increased and yellowness degree b^* value also decreased.

It has been concluded that the when the termination parameter of drying process was set to taking out of the products from the shelves decided by humidity values via software, can effectively increase the efficiency of dryer. Therefore, independent control of the dryer shelves for making a new design of electronic circuit and control system would be beneficial.

Keywords: Automation, Drying, Rosemary, Shelf Dryer

2014, 62 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlama ve projelendirme aşamasından başlayarak, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yönlendiren Danışman Hocam Doç. Dr. Serkan BOYAR'a, elektronik devrenin tasarlanması ve yapımında yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR'a, kaynak araştırmalarım ve laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Zir. Müh. Özgür KAYAALP'e teşekkür ederim.

3230-YL1-12 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hilmi ARIK
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Laboratuvar tipi raflı kurutucu genel görünüşü	16
Şekil 3.2. Kurutucuya ait ısıtıcı ve fana ait değişken devirli hız sürücüsü ...	17
Şekil 3.3. Sürekli tartım ve kayıt sistemine ait yük hücresi ve askı düzeni..	18
Şekil 3.4. Hava hızı ölçüm cihazı	18
Şekil 3.5. Hava hızı ölçüm noktaları	19
Şekil 3.6. Sıcaklık, nem ve ağırlık ölçüm noktaları	19
Şekil 3.7. SHT75 Sıcaklık ve Nem Sensörü	20
Şekil 3.8 Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	21
Şekil 3.9. Clevenger cihazları	22
Şekil 3.10. Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi elemanları ve bağlantı şeması (Boyar, 2006)	22
Şekil 3.11. Elektrik Enerjisi İzleme sistemi elemanları.....	23
Şekil 3.12. Renk ölçüm cihazı.....	25
Şekil 3.13 Laboratuvar tipi raflı kurutucunun otomasyon sistemi şeması	26
Şekil 3.14. SHT75 sıcaklık ve nem sensörü devresi	26
Şekil 3.15. Veri toplama devreleri.....	27
Şekil 3.16. Sıcaklık ve nem ölçüm programı ana kontrol ekranı	28
Şekil 3.17. Ağırlık ölçüm programı ana ekranı.....	28
Şekil 3.18 Biberiye hasadı, tartım ve kurutma denemeleri.....	29
Şekil 4.1 Sıcaklık ve nem ölçüm programı ayarları ve veri alımının başlatılması	32
Şekil 4.2. Sıcaklık ve nem ölçüm programı veri akışı.....	32
Şekil 4.3. Sıcaklık ve nem ölçüm programının ayarlanan nem değerine ulaşıldığında kurutma sisteminin durdurulması	33
Şekil 4.4. Sıcaklık ve nem ölçüm programı veri kayıt ekranı	33
Şekil 4.5. Ağırlık ölçüm programı veri kayıt ekranı.....	34
Şekil 4.6. Ağırlık ölçüm programı veri kayıtları ve MS Excel programına aktarılması	34
Şekil 4.7. Kurutma sırasında dış ortam ortalama sıcaklığı ve bağıl nemi	35
Şekil 4.8. Kurutucu taze hava giriş ve nemli hava çıkış sıcaklık değişimi (°C)	36
Şekil 4.9. Kurutucu taze hava giriş ve çıkış bağıl nem değerleri (%RH)	36
Şekil 4.10 Sıcaklık set değerlerine göre biberiye kurutma süresi değişimi ..	38
Şekil 4.11 Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (42 °C)	39
Şekil 4.12. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değişimi (42 °C)	39
Şekil 4.13. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (42 °C)	40

Şekil 4.14 Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (42 °C)	40
Şekil 4.15 Kurutucu raflarına göre ürün ayrılabilir nem oranı (42 °C)	40
Şekil 4.16 Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (42 °C)	41
Şekil 4.17. Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (45 °C)	42
Şekil 4.18. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değerleri (45 °C)	42
Şekil 4.19. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (45 °C)	43
Şekil 4.20. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (45 °C)	43
Şekil 4.21. Kurutucu raflarına göre ürün ayrılabilir nem oranı (45 °C)	44
Şekil 4.22. Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (45 °C)	44
Şekil 4.23. Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (48 °C)	45
Şekil 4.24. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değerleri (48 °C)	46
Şekil 4.25. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (48 °C)	46
Şekil 4.26. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (48 °C)	47
Şekil 4.27. Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (48 °C)	47
Şekil 4.28. Kurutucu raflarına göre ürün kuruma hızı (48 °C)	48
Şekil 5.1. Biberiye kurutmada ısıtma sistemi ve fanın çalışma düzeni	53
Şekil 5.2. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ürün neminin (k.b.) değişimi	54
Şekil 5.3. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ürün neminin (y.b.) değişimi	54
Şekil 5.4. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ayrılabilir nem oranı değişimi	55
Şekil 5.5. Kurutma sıcaklıklarına göre ürün kuruma hızı değişimi	55
Şekil 5.6. Renk ölçüm yapılan kuru biberiye örnekleri	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Laboratuvar tipi raflı kurutucunun teknik özellikleri	15
Çizelge 3.2. Sürekli tartım ve kayıt sistemi yük hücrelerine ait teknik özellikleri	17
Çizelge 3.3. Hava hızı ölçüm cihazı teknik özellikleri	18
Çizelge 3.4 CASE Pa300 tipi enerji analizörüne ilişkin özellikler (Boyar, 2006)	24
Çizelge 4.1. Dış ortam çevre havbası ortalama sıcaklık ve nem değerleri...	34
Çizelge 4.2. Yapılan denemelerde kurutma sisteminin taze hava giriş ve nemli hava çıkış özellikleri	35
Çizelge 4.3. Kurutucu sıcaklıklarına göre ürün ilk tartım ve son tartım değerleri	37
Çizelge 4.4. Biberiye kurutmada sıcaklıklara göre üründen uzaklaştırılan su ve elde edilen kuru ürün miktarı (%)	37
Çizelge 4.5. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (42 °C)	38
Çizelge 4.6. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (45 °C)	42
Çizelge 4.7. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (48 °C)	45
Çizelge 4.8. Kurutma sıcaklıklarına göre hava hızı ölçüm değerleri (m ² /sn)	48
Çizelge 4.9. Taze biberiye bitkisinin renk değerleri.....	49
Çizelge 4.10. 42°C’de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri.....	49
Çizelge 4.11. 45°C’de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri.....	50
Çizelge 4.12. 48°C’de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri.....	50
Çizelge 5.1. Biberiye kurutmada 45 °C sıcaklıkta kurutucunun güç tüketimi	52
Çizelge 5.2. Kurutma sıcaklıklarına göre kurutucu kapasitesi ve özgül enerji tüketimi	53
Çizelge 5.3. Taze ve kurutulmuş biberiye yağ miktarları (mg)	56
Çizelge 5.4. Taze ve kuru biberiyelerde renk değerleri değişimi.....	57

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin uzun süreli saklanması amaçlandığında akla ilk gelen seçeneklerin başında kurutma yer almaktadır. Tarımsal ürünlerin soğutarak, dondurarak, kimyasal maddelerle işlem den geçirerek, oksijensiz ortamda depolanarak, ultraviyole ve radyoaktif ışıklardan yararlanarak uzun süre saklanması mümkün olmakla birlikte bu metodlar içerisinde kendine en geniş uygulama alanı bulan muhafaza yöntemi kurutmadır (Yağcıoğlu, 1996).

Gıdaların kurutularak muhafazası insanın doğadan öğrendiği ve ilk çağdan beri kullandığı saklama yöntemi olup, çok eski yıllardan bu yana süregelen bir uygulamadır (Cemeroğlu, 1986; Şahbaz, 1994).

On sekizinci yüzyılda sebzelerin kurutulması, kaydedilmiş ilk sanayi tipi gıda kurutmasıdır. Bundan sonra kurutma endüstrisindeki gelişmeler ortaya çıkan savaşlar ile paralellik göstermiştir. Nitekim, İngiliz askerleri Kırım'da (1854-1856) vatanlarından gönderilen kurutulmuş sebzeleri kullanmışlar; Boer Savaşı (1899-1902) esnasında Kanada'da kurutulan sebzeler Güney Afrika'ya nakledilmiş ve I. Dünya Savaşı sırasında 4500 ton dehidre edilmiş gıda (taze fasulye, lahana, havuç, patates, ıspanak, mısır, turp ve çorba karışımları) Birleşik Devletler'den Avrupa'ya gönderilmiştir (Vega-Mercado vd., 2001).

Kurutma işlemi birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Nitekim, "mikrobiyolojik ve enzimsel değişimleri önlemek veya sınırlamak (Geankoplis, 1983)", "bozulmaya neden olan mikroorganizmaların ve kimyasal reaksiyonların durdurulduğu veya yavaşlatıldığı bir işlem (Ratti, 2001)", "ürünün içerisindeki fazla nemi almak ya da uzaklaştırmak (Bulduk, 2004)", "üründeki nem içeriğini güvenli depolanacakları bir nem seviyesine indirme işlemi (Yağcıoğlu, 1996)" "gıdalarda su miktarının (su aktivitesinin) mikroorganizma faaliyetlerini önleyecek seviyeye düşürmek, ürün kalitesinde herhangi bir bozulmaya imkân vermeden ürün nemini en kısa sürede ve en az enerji harcayarak son nem değerine düşürmek (Polatçı, 2008)", "ıslak bir katının yüzey ve iç

kısımlarındaki sıvıyı sıcak hava akımı yardımıyla uzaklaştırmak (Balkan, 1992)” şeklinde bir çok tanımı bulunmaktadır.

Kurutma uygulamasının sağlayacağı yararlar (Yağcıoğlu, 1996; Dash vd., 2013);

- Ürünün bozulmadan uzun süre dayanması,
- Ürünlerin erken hasat edilmesine izin vermesi,
- Ekonomik değeri olan yeni ürünler elde edilmesi,
- Tohumların çimlenme yeteneklerinin uzun süre korunması şeklinde sıralanabilir.

Kurutma işleminde ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleşmektedir. Kimya ve gıda sanayinde pek çok madde katı halinde üretildiğinden, proseslerde yer alan son işlemlerden biri kurutma olmaktadır. Kurutmaya bazı tarımsal ürünlerin depolanması öncesinde de başvurulmaktadır (Balkan, 1992).

Kurutma işleminin amaçları genel olarak şunlardır (Evranuz, 1998; Şahbaz, 1994);

- Gıda maddesinin dayanma süresini uzatmak,
- Ürünleri sterilize etmek ve korumak,
- Ürün hacminin düşmesi ile depolama ve taşımada ekonomiklik sağlamak,
- Yeni ürün formülasyonları geliştirmek,
- Çözeltiler veya atık sulardan oluşan karışımlardan yan ürünleri geri kazanmak,
- Daha sonra uygulanması gereken işlemler, kullanım, pazarlama vb. için istenen koşulları sağlayan malzemeler üretmek

Kurutma işleminin asıl amacının daha hızlı kurutmak değil, daha iyi kalitede bir ürün elde etmek olduğu tüm uygulamalar sırasında dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, son yıllarda kurutma işlemi sırasında kalite kaybının mümkün olduğunca az tutulması, son ürünlerdeki kalite beklentilerinin yükseltilmesi, enerji verimliliği gibi nedenlerden dolayı kurutma yöntemlerinden uygun

olanları birlikte de kullanılabilirler. Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde fırın, tünel, püskürtmeli kurutucuların mikrodalga ile desteklendiği; mikrodalga ile kızılötesi yöntemlerinin bir arada kullanıldığı araştırmaların sayısında artış gözlenmektedir. Diğer taraftan son yıllarda enerji tasarrufu, karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik önlemler de alınmaya başlanmıştır. Bu kapsamda atmosfere daha az gaz salan teknolojiler, bazı durumlarda daha pahalı olmasına rağmen tercih edilmeye başlanmıştır (Esper ve Mühlbauer, 1998).

Tarım ürünlerinden uzaklaştırılması gereken nem, temelde bitkinin kendi öz suyu ile çevre koşulları nedeniyle ek olarak bulundurduğu nemden oluşmaktadır. Hücre suyu olarak adlandırdığımız bitki öz suyu en fazla miktarda, hücre boşluğunda bulunur. Hücre eti ve diğer kısımlarda da bir miktar su bulunmakla birlikte, bu suyun uzaklaştırılması ancak özel şartlar altında gerçekleştirilebilmektedir. Kurutmanın esasını hücre boşluğundaki suyun uzaklaştırılması oluşturmaktadır (Köse, 2008).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de çok sayıda tıbbi ve aromatik bitki değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bitkilerin bir kısmı halk arasında asırlardan beri kullanılan bitkilerdir. Bu bitkilerin kullanım alanları oldukça geniştir. Tıbbi bitkilerin kullanım alanlarını; başta baharat olmak üzere ilaç sanayi, meşrubat, parfüm, kozmetik endüstrisi, diş macunu, sabun, şekerleme yapımında, şifalı ve dinlendirici çay imalatı şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Bitkilerin sap ve yaprak kısımlarındaki nem oranlarının farklılığı ve bu nemin ortamdan uzaklaşma süresinin de değiştiği dikkate alınırsa bitkinin kuruma sonunda içerdikleri nem oranlarının farklılık göstermesinin olağan bir durum olduğu düşünülmektedir (Özgüven vd., 2006).

Biberiye Akdeniz ülkelerinde kendiliğinden yetişen veya kolayca kültürlü yapılan bir aromatik bitkidir. Yapısındaki uçucu yağdan kaynaklanan hoş

giden aromasından dolayı, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde yaygın olarak kullanılan baharatlardan biridir. Biberiye, kozmetik endüstrisinde kolonya, losyon ve şampuan yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca, biberiyenin güçlü bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu da bildirilmektedir (Banyai vd., 2003). Antioksidan özelliği, yapısında bulunan karnosol, karnosik asit ve rosmarinik asitten kaynaklanmaktadır (Anonim, 2003). Karnosik asitin karnosoldan üç kat, butil hidroksitoluen ve hidroksianisol'dan ise yedi kat fazla olduğu bildirilmiştir (Frankel vd., 1996; Richheimer vd., 1996).

Biberiyenin antioksidan etkisinin; öncelikli olarak türe, varietesine, hasat zamanına, işlemin tipine ve en önemli faktörlerden olan gelişme ortamının çevresel ve ekolojik karakteristiklerine bağlı olduğunu bildirilmiştir (Kırıcı ve İnan, 2002).

Biberiyenin antioksidan aktivitesinin ekstraktın elde ediliş yöntemiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Önenç ve Açıkgöz, 2005).

Halk arasında hasalban, kuşdili, ve biberiye olarak adlandırılan *Rosmarinus officinalis*' in yaprakları % 8 tanen ve % 1-2 uçucu yağ taşıdığını, uçucu yağ, odunsu kısımları hariç tüm bitkiden, özellikle yapraktan su buharı distilasyonu ile elde edildiği ve bunun renksiz-açık sarı renkli kafur ve cineol kokulu olduğu belirtilmiştir (Baytop, 1984).

Kurutulmuş biberiyenin antioksidan olarak kullanılması önerilmektedir. Ancak, biberiyenin kendine özgün keskin tad ve kokusu çok düşük düzeylerde bile hissedilebilmektedir. Kullanım düzeyini sınırlayan bu önemli sorun, son yıllarda geliştirilen bazı yöntemlerle giderilmiştir. Özellikle ABD ve Japonya' da renksiz, tatsız, kokusuz aynı zamanda güçlü antioksidan etkiye sahip ticari biberiye preperatları üretilmiştir (Akgül, 1989).

Rosmarinus officinalis L.'de ikinci yıl yaprak veriminin 400-500 kg/da, yapraklarındaki uçucu yağın bileşenlerinin, % 15-30 cineol, % 5-10 kafur ve % 10-20 borneol olduğu belirtilmiştir (Ceylan, 1987).

Teknolojinin gelişmesi, enerjinin verimli kullanılabilmesi ve özel ağaçtan yapılmış ürünlerin elde edilebilmesi için yoğunlaşmalı ve vakumlu kurutma yöntemleriyle çalışan kurutma sistemleri yaygınlaşmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1987).

Biberiye ve adaçayı bitkilerinin kabin tipi kurutucularda kurutulduklarında sap ve yapraklarındaki nem oranının oldukça yüksek olması kabin tipi kurutucularda 40 °C sıcaklık ve 12 saat kuruma süresinin bu bitkiler için uygun olmadığını göstermektedir (Özgüven vd., 2006).

Ürün kalitesini etkilememek kaydıyla kurutma sistemlerinde enerji verimliliği; kurutma maliyetleri üzerine enerji giderlerinin etkisi nedeniyle öncelikli konular arasına girmiştir. Bu bağlamda;

- ✓ Kurutma işleminin olabildiğince hızlı bir şekilde yapılması
- ✓ Tüketilen enerji miktarının azaltılması uygulamalarda dikkat çekmektedir.

Kurutma işleminin asıl amacı, ürün kalitesini korumanın yanı sıra depolama sırasında ürünün renk, koku, tat ve aromasını muhafaza etmesini sağlamaktır. Ayrıca, üründe hijyen koşullarının sağlanması beklenmektedir.

Bu amaçla; kurutma sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar sıcaklık kontrolünün yanı sıra, nem kontrolü üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır. Kurutma sistemlerinde sıcaklık ve nem sensör teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak otomasyon uygulamalarına öncelik verilmiştir. Bu çalışmada, laboratuvar tipi rafli kurutucunun otomasyon sisteminin geliştirilmesi ve biberiye bitkisinin kurutulması yoluyla kurutucunun performansının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışma, SDÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü kurutma laboratuvarında bulunan nemli hava karıştırma odasına sahip, kurutma havası hızı değişken devirli hız sürücüsü ile kontrol edilebilen laboratuvar tipi raflı bir kurutucuda yürütülmüştür. Kurutma materyali olarak akdeniz bölgesi ikliminde yetişen biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) seçilmiştir.

3.1.1 Laboratuvar Tipi Raflı Kurutucu

Laboratuvar tipi raflı kurutucu; elektrikli ısıtıcı, değişken devirli hız sürücüsü ile kontrol edilen fan, kurutucu kabini, 4 adet askılı kurutma rafı, sürekli tartım ve kayıt sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Elektrikli ısıtıcı tarafından ısıtılan hava, fan tarafından kurutucu raflarının bulunduğu bölmelere yönlendirilmektedir. Kurutucu raf bölmeleri birbirinden bağımsız çıkışlara sahip olup, kurutucu arka bölümünde yer alan nemli hava karıştırma odasına boru tipi kanallarla bağlanmıştır. Kurutulacak ürün üzerinden geçtikten sonra kurutucu çıkışına yönlendirilen nemli ve sıcak hava nemli hava karıştırma odası yardımıyla doğrudan dışarıya atılmadan dış ortamdan alınan kuru hava ile karıştırılarak tekrar ürün üzerine verilebilmektedir. Böylece, kurutulacak ürün üzerine gönderilen hava kısmi olarak nemlendirilebilmektedir. Kurutucuya dış ortamdan alınacak olan taze hava miktarı, taze hava giriş ağzı ve nemli hava çıkış ağzı açıklığı değiştirilerek ayarlanabilmektedir (Bayhan ve ark., 2011).

Çizelge 3.1. Laboratuvar tipi raflı kurutucunun teknik özellikleri

Raf sayısı (adet)	4
Raf alanı (1x1m) (m ²)	1
Ayarlanabilen sıcaklık aralığı (°C)	10-70
Tartım Sistemi hassasiyeti (g)	1-50.000
Sıcaklık sensör aralığı (°C)	-40 – +80
Deney sürecinde nem ölçüm aralığı (%RH)	10 – 90



Şekil 3.1. Laboratuvar tipi raflı kurutucu genel görünüşü

Fan ve Isıtma Ünitesi

Kurutma havasının sıcaklığı 10-70 °C aralığında ayarlanabilmektedir. Isıtılan hava fan yardımıyla kurutucu içerisinde dolaştırılmaktadır. Kurutma havası hızı fana bağlı olan değişken devirli hız sürücüsü yardımıyla kontrol edilmektedir.



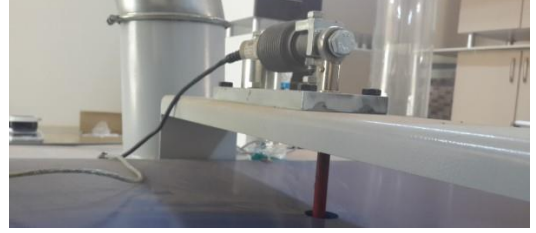
Şekil 3.2. Kurutucuya ait ısıtıcı ve fana ait değişken devirli hız sürücüsü

3.1.2 Sürekli Tartım ve Kayıt Sistemi

Kurutma rafına yerleştirilen ürünün anlık olarak ağırlık kaybının belirlenmesinde her bir raf için ayrı ayrı olmak üzere ESİT C5 lama tipi yük hücresi (Çizelge 3.2) kullanılan sürekli tartım ve kayıt sistemi kurulmuştur. Raflar kilitli bir sabitleme düzeneği yardımıyla ürünlerin raflara yerleştirilmesi sırasında tartım sisteminden ayrılarak kızağa alınabilmektedir. Kurutma sırasında tartım yapılabilmesi için kilitleme ve sabitleme sistemi itilerek rafın yük hücresine bağlı askıda asılı kalması sağlanmaktadır (Şekil 3.3).

Çizelge 3.2. Sürekli tartım ve kayıt sistemi yük hücrelerine ait teknik özellikleri

Maksimum kapasite (Emax)	kg	50
Hassasiyet sınıfı		C5
Minimum ölçüm aralığı		Emax/20000
Toplam hata	%	$\leq \pm 0.012$
Maksimum uyarma gerilimi (Umax)	V	15
Düzeltilmiş çalışma sıcaklığı aralığı	°C	-10...+40
Çalışma sıcaklığı aralığı	°C	-40...+80
Yük Hücresi malzemesi		Paslanmaz Çelik
Ağırlık	kg	0,6



Şekil 3.3. Sürekli tartım ve kayıt sistemine ait yük hücresi ve askı düzeni

3.1.3 Hava Hızı Ölçüm Cihazı

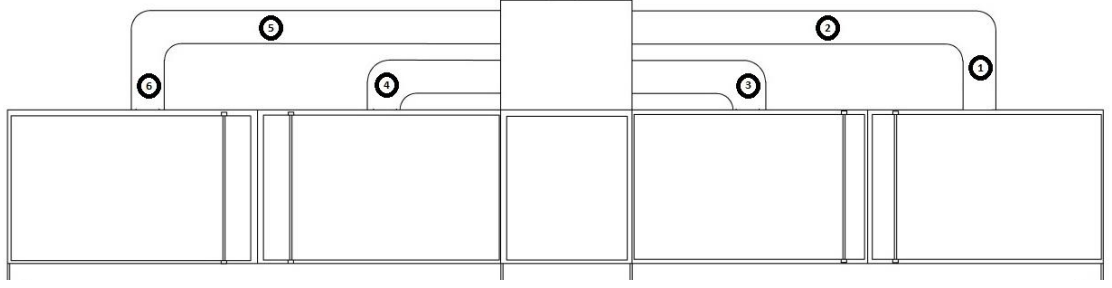
Kurutma havası hızının belirlenmesinde hacimsel debi ölçümü yapabilen pervaneli tip proba sahip TESTO 416 hava hızı ölçüm cihazı (anemometre) (Çizelge 3.3, Şekil 3.4) kullanılmıştır. Ölçümler 6 ayrı ölçüm noktasında 3 tekrarlı olarak yapılmıştır (Şekil 3.5).

Çizelge 3.3. Hava hızı ölçüm cihazı teknik özellikleri

Teknik özellikler	Çalışma sıcaklığı	-20 - +50 °C
	Batarya ömrü	200 saat (tipik pervane ölçümü)
	Boyutlar	220 x 74 x 46 mm
Pervane	Ölçüm aralığı	0 - 60 m/sn
	Çözünürlük	0.1 m/sn (16 mm Pervane)



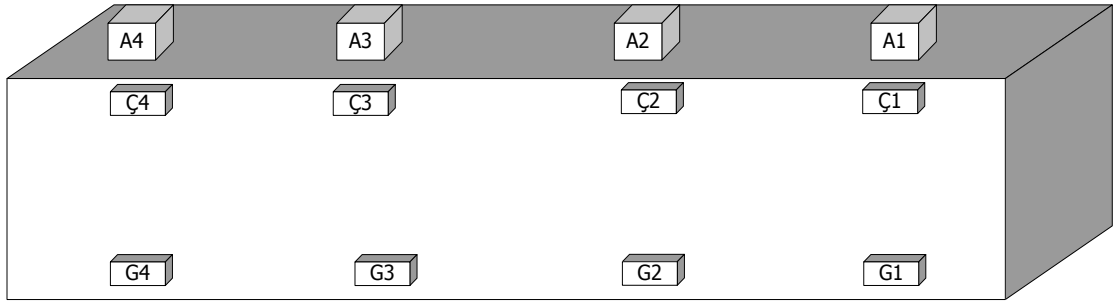
Şekil 3.4. Hava hızı ölçüm cihazı



Şekil 3.5. Hava hızı ölçüm noktaları

3.1.4 Sıcaklık ve Nem Ölçüm Sistemi

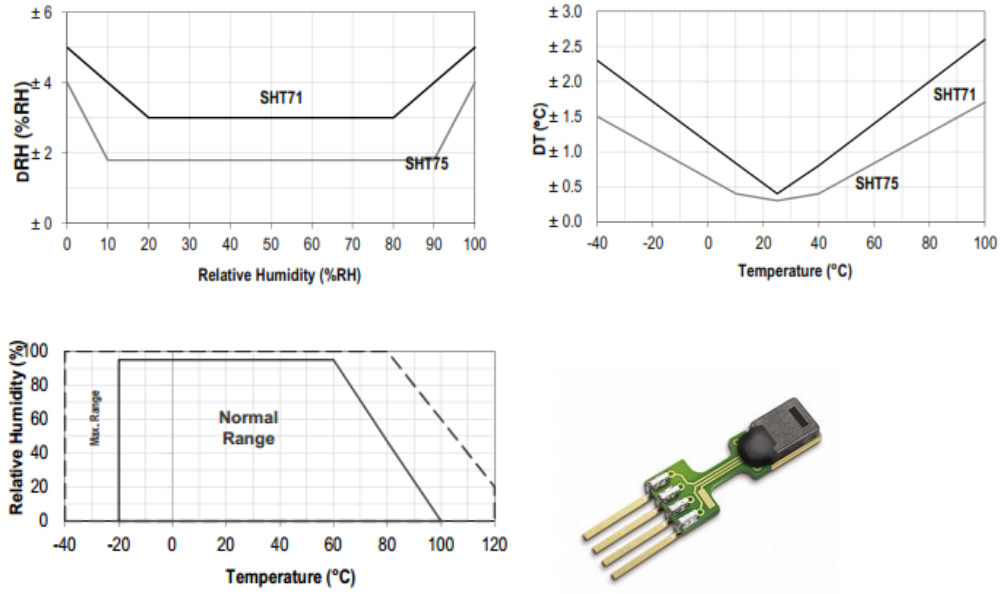
Kurutma sırasında kurutucuda bulunan 4 rafa ait bölmelerin giriş (G) ve çıkış (Ç) noktalarındaki sıcaklık ve nem değerlerinin ölçümünde SHT75 tipi sıcaklık ve nem sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.6).



- A : Ağırlık ölçüm noktaları
G : Sıcaklık ve nem ölçüm noktaları (Giriş)
Ç : Sıcaklık ve nem ölçüm noktaları (Çıkış)

Şekil 3.6. Sıcaklık, nem ve ağırlık ölçüm noktaları

SHT75 nem sensörünün ölçüm aralığı 10 - 90 bağıl nem arasında değişirken, sıcaklık -40 - +123,8 °C arasında ölçülebilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. SHT75 Sıcaklık ve Nem Sensörü

3.1.5 Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.); Labiatae ailesinden küçük iğne uçlu, yapraklı, her daim yeşil kalan, doğal olarak yetişebilen 2 m'ye kadar boya ulaşabilen çok yıllık bir bitkidir. Akdeniz ülkelerinde, ABD ve İngiltere'de üretilmekte linear dizilişli ve dar yaprakları bulunmaktadır (Simon vd., 1984). Biberiye uçucu yağı (Oleum Rosmarini) özellikle parfüm, kozmetik ve aromaterapide çok değerlidir. Antioksidan zengin olup, taze ya da kurutulmuş halde baharat olarak koku ve tat vermek amacıyla, et, sebze ve çorbalarda kullanılmaktadır (Baydar, 2013). Kurutma için gerekli biberiye, Süleyman Demirel Üniversitesi Kampüsünde peyzaj düzenlemesi için dikimi yapılmış alanlardan hasat edilmiştir (Şekil 3.8).



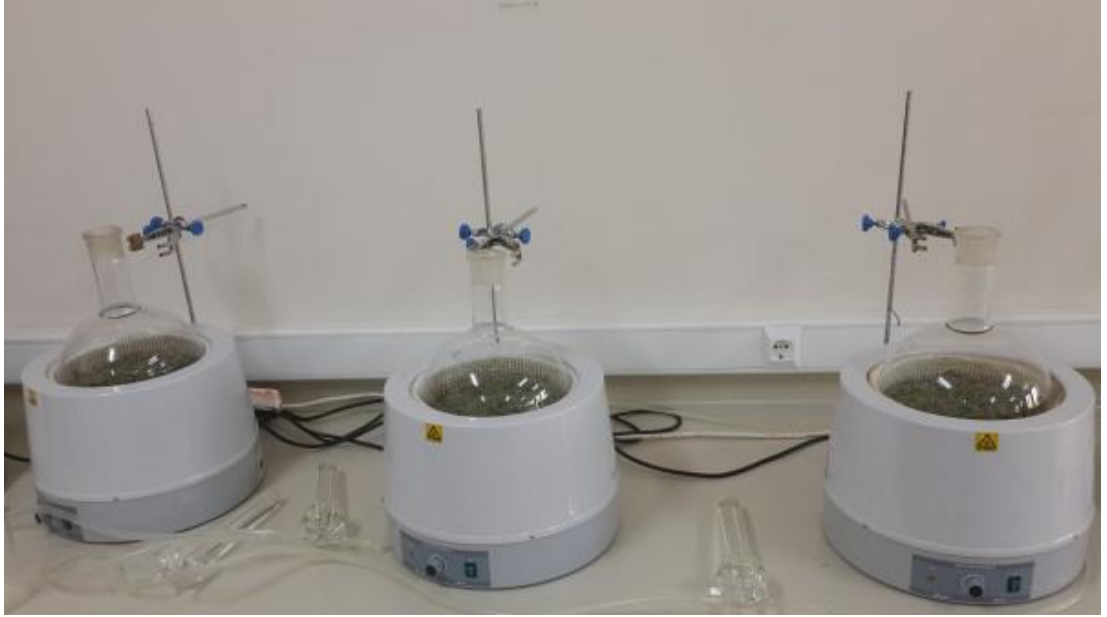
Şekil 3.8 Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

Kodekslerde, *Rosmarinus officinalis* L. uçucu yağının % 1-2 oranında ve % 15 cineol, % 10-20 borneol ve % 5-10 bornil asetat ve kamfen içermesi gerektiğini bildirilmektedir (Wagner vd., 1984). Farklı çalışmalarda biberiye uçucu yağ oranının üretim bölgesi, yetiştirme yöntemi, uçucu yağ elde etme tekniği vb.ne göre değişim gösterdiği belirtilmiştir: %1-2 (Anonim, 1987), % 0,9-1,3 (Bayrak ve Akgül, 1988), % 1.0- 2.1 (Furnier vd., 1989), % 2.24-2.50 (Boyle vd., 1991), % 2,4 (Jain vd., 1991), % 2.35 (Alonsa vd., 1995), %1,01-1,08 (Özgüven ve ark., 1995), % 0.34-0.24 (Kırıcı ve Çetin, 1997) % 0.39-0.90 (Kırpık, 1998).

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)'de kuru madde oranı % 47.53-43.07 (Kırıcı ve Çetin, 1997), % 51-54 (Kırpık, 1998) arasında değişim göstermektedir.

3.1.6 Clenvenger Cihazı

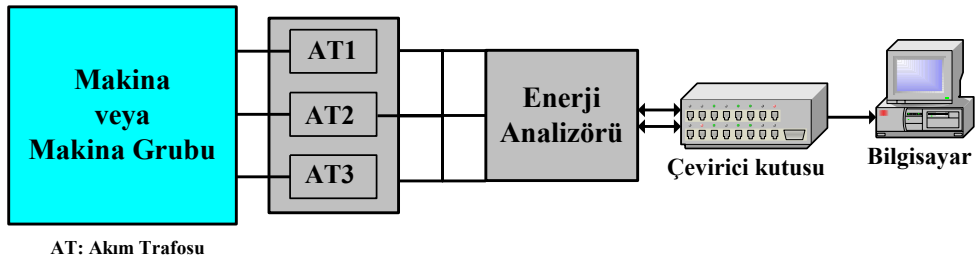
Kurutma amacıyla hasat edilen taze biberiye ve kurutma sonrası elde edilen kuru biberiye örnekleri Clenvenger cihazında (Şekil 3.9) damıtma yapılarak yağ miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Clevenger cihazları

3.1.7 Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi

Kurutucu sistemin panosundan giriş yapılan "Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi"nde 1 adet enerji analizörü ile analizör için 3 adet akım trafosu (AT) kullanılmıştır (Şekil 3.10). "Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi"nde yer alan enerji analizöründen gelen veriler, veri aktarma elemanı yardımıyla kayıt bilgisayarına bağlanmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi elemanları ve bağlantı şeması (Boyar, 2006)



Enerji Analizörü



Çevirici



Akım Trafoları

Şekil 3.11. Elektrik Enerjisi İzleme sistemi elemanları

“Elektrik Enerjisi İzleme Sistemi”nde kullanılan “CASE Pa300” tipi enerji analizörleri, gerilim, akım, güç faktörü, güç tüketimi, enerji tüketimi vb. değerleri ölçerek ya da hesaplayarak bilgisayara kaydedebilmektedir. Enerji analizörüne ilişkin teknik özellikler aşağıda yer alan çizelgede verilmektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 CASE Pa300 tipi enerji analizörüne ilişkin özellikler (Boyar, 2006)

ÖLÇÜM ÖZELLİKLERİ	CASE Pa300			
	Fazlar			Doğruluk
	1	2	3	
Gerilim (V)	+	+	+	% 1±1 basamak
Akım (A)	+	+	+	% 1±2 basamak
Güç faktörü (GF)	+	+	+	
Aktif güç (kW)	+	+	+	
Reaktif güç (kVAr)	+	+	+	% 1.5±1 basamak
Görünen güç (kVA)	+	+	+	
Toplam aktif güç (Σ kWh)	+			
Toplam reaktif indüktif güç (Σ kVAr _i)	+			
Toplam reaktif kapasitif güç (Σ kVAr _c)	+			
Toplam görünen güç (Σ kVA)	+			% 0.1±1 basamak
Frekans (Hz)	+			
Ortalama güç faktörü	+			% 1±2 basamak
Görünen güç sayacı (kVAh)	+			
Aktif güç sayacı (kWh)	+			
Reaktif indüktif güç sayacı (kVAr _{hi})	+			
Reaktif kapasitif güç sayacı (kVAr _{hc})	+			
Çalışma ortam sıcaklığı	-10 - +50 °C			
Çalışma ortamı nem oranı	<% 95			
Minimum hafıza kayıt aralığı	1 s			
Minimum ölçüm aralığı ayarlama	600 ms			

3.1.8 Renk Ölçüm Cihazı

Biberiyelerde kurutma sonrasında renk ölçümleri yapılarak değişimler izlenmiştir. Farklı üç sıcaklık derecesinde kurutulan biberiye örneklerinde Konica Minolta Chromo Meter CR-400 cihazı ile renk ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.12). Kurutulan biberiyelerin L*:aydınlık, a*:kırmızılık düzeyi, b*:sarılık derecesi renk değerleri belirlenmiştir.



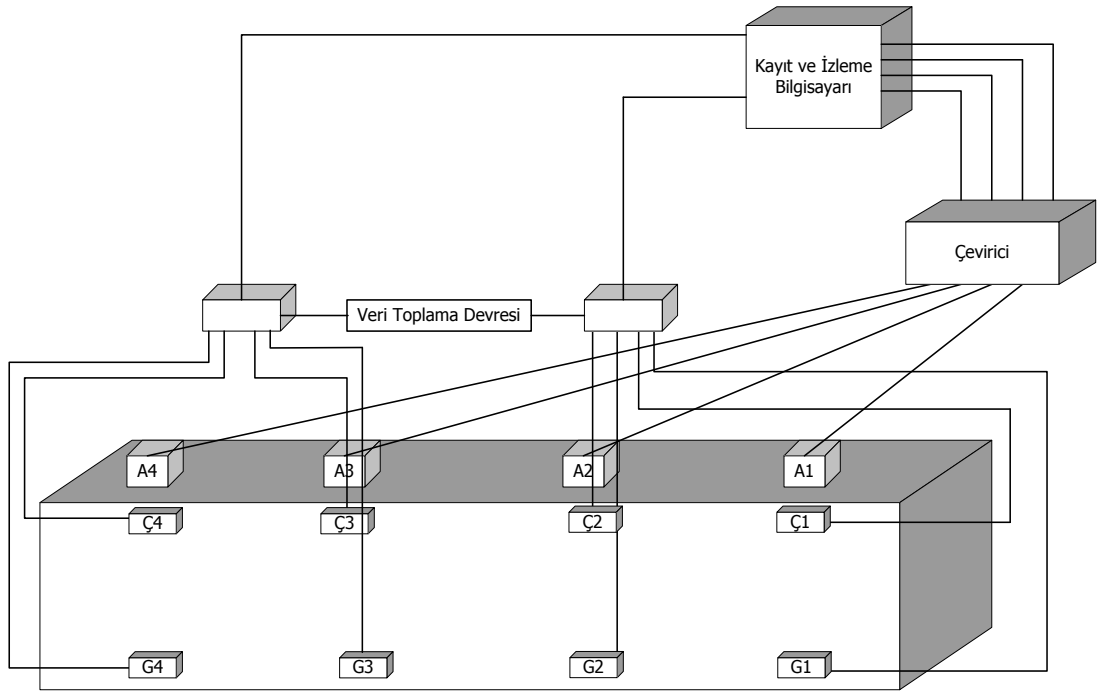
Şekil 3.12. Renk ölçüm cihazı

3.2 Yöntem

Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasına uygun laboratuvar tipi raflı kurutucunun otomasyon sisteminin geliştirilmesi ve performansının belirlenmesi birbirini izleyen 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

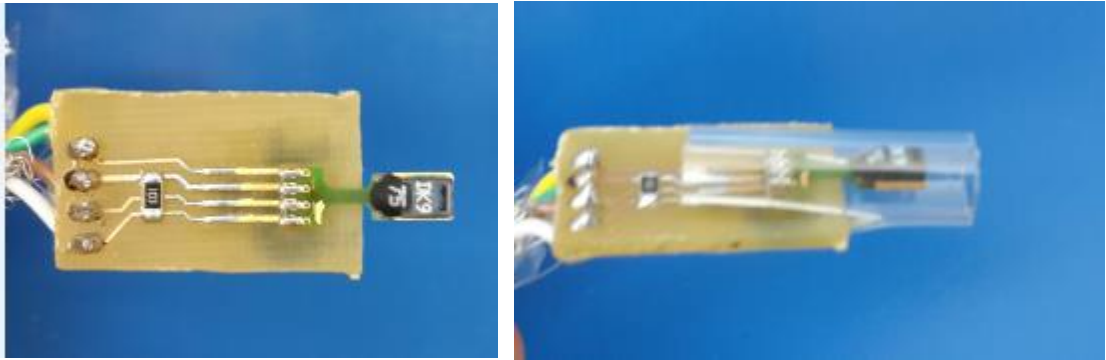
3.2.1 Laboratuvar tipi raflı kurutucunun otomasyon sisteminin geliştirilmesi

Laboratuvar tipi raflı kurutucunun sıcaklık ve nem sensörleri raf bölümlerinin giriş ve çıkışı olmak üzere 8 ayrı ölçüm noktasına yerleştirilmiştir. SHT75 tipi sıcaklık ve nem sensörleri ve sensörlerden gelen verileri gruplandırmak üzere 2 ayrı devre tasarlanmıştır. Sıcaklık ve nem sensörlerine ait devrelerden alınan veriler özgün tasarım veri toplama devresinde birleştirilerek kayıt ve izleme bilgisayarına iletilmektedir. Ayrıca, izlenen raflarda her birine ait çeviricisi olan yük hücreleri yardımıyla yapılan ağırlık ölçümleri de doğrudan kayıt ve izleme bilgisayarına aktarılabilmektedir (Şekil 3.13).



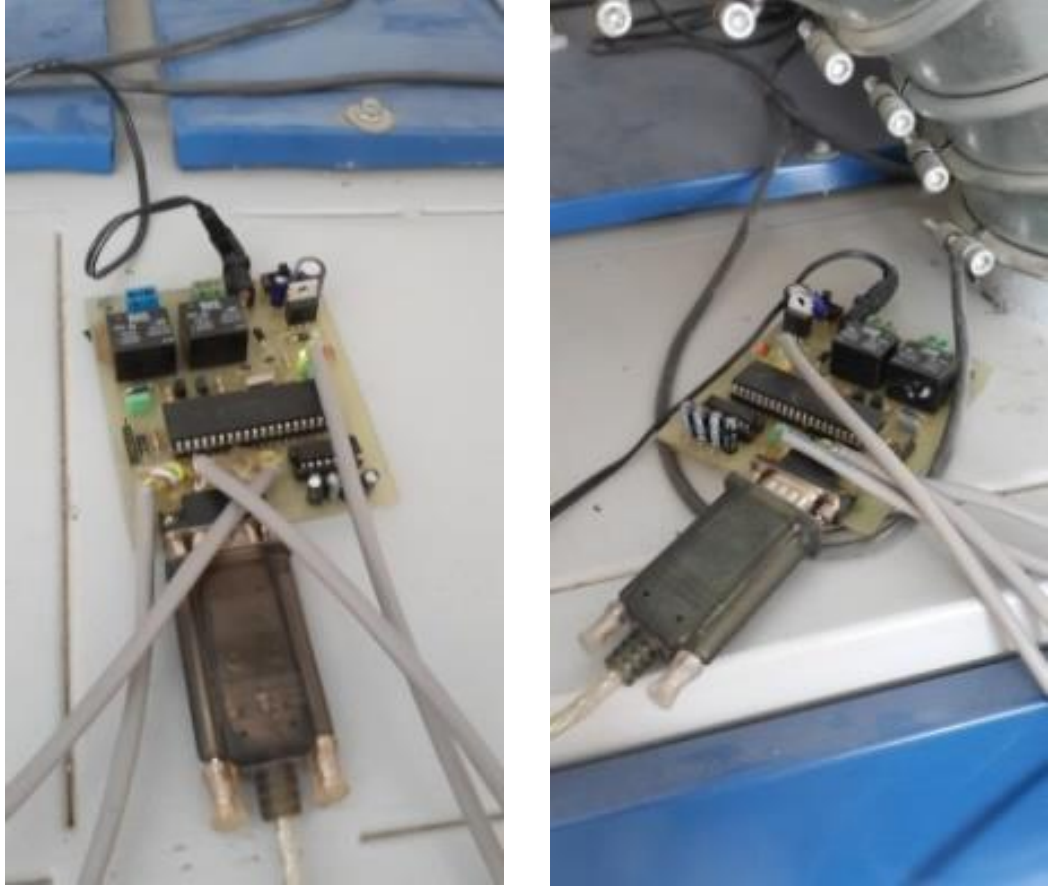
Şekil 3.13 Laboratuvar tipi raflı kurutucunun otomasyon sistemi şeması

SHT75 sıcaklık ve nem sensöründen verileri almak için bir devre tasarlanmış ve Matlab 2012 kullanılarak programlanmıştır. Sensörün üstü bir koruyucu ile kapatılarak muhafaza altına alınmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. SHT75 sıcaklık ve nem sensörü devresi

Sıcaklık, nem ve ağırlık sensörlerinden anlık olarak alınan veriler serial port üzerinden haberleştirilerek kayıt ve izleme bilgisayarına iletilmiştir. İlk olarak yapılan veri toplama devresi tek olarak tasarlanmış ve imal edilmiş, yapılan denemelerde uzakta kalan raflara ait verilerin, veri kablolarının uzun olması nedeniyle kayıp meydana geldiği ön denemelerde belirlenmiştir. Bu nedenle aynı devreden ikincisi imal edilerek veri kayıpları önleyecek çözüm üretilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.15. Veri toplama devreleri

3.2.2 Kurutucu kontrol sistemi yazılım arayüzü geliştirme çalışmaları

Kayıt ve izleme bilgisayarına gelen tüm veriler hazırlanan yazılım arayüzü yardımıyla ayrıştırılmakta ve ekran çıktısı olarak gösterilmektedir. Sıcaklık, nem ve ağırlık ölçümlerinin anlık olarak bilgisayardan izlenmesi için Visual Studio 2012 programında c# dili kullanılarak bir arayüz programı yazılmıştır. Ölçülen verilerin depolanması ve anlık kayıtların yapılması amacıyla SQL Server Management Studio 2012 kullanılmıştır. Kayıt işlemi için öncelikle serial port seçimi ve ayarları yapılarak haberleşmenin sağlanması gerekmektedir. Kurutucu kontrol sistemi ekranında haberleşme portu seçimi, dosya ismi verilmesi, kurutma sonlandırma nem düzeyi ve en az 1 sn'ye kadar ayarlanabilen veri alma aralığı girişi yapılabilmektedir. Ekran

tasarımında her bir ölçüm noktasına ait verilerin yerinde görüntülenmesi amacıyla kurutucu görseli ekran üzerine işlenmiştir (Şekil 3.16).

Şekil 3.16. Sıcaklık ve nem ölçüm programı ana kontrol ekranı

Öncelikli olarak yük hücrelerinden gelen USB bağlantı portları seçilerek veri kayıt bilgisayarı ile haberleşme sağlanmaktadır. Verilerin kaydedildiği veri tabanı dosyası ismi verildikten sonra "KONTROL" butonuna basılarak sistemin 10 sn süreyle testi yapılmaktadır. Veri alma sıklığı en az 10 sn olarak ayarlanabilmektedir. "BAŞLAT" butonuna bastıktan sonra kayıt işlemi başlatılmaktadır (Şekil 3.17).

Şekil 3.17. Ağırlık ölçüm programı ana ekranı

3.2.3 Kurutma denemeleri

Özgün tasarım sıcaklık ve nem sensörü veri alma devresi ve veri aktarma devreleri ile geliştirilen arayüz yazılımı yanısıra ağırlık sensörleri çalışma performanslarının belirlenmesi amacıyla kurutucuda biberiye kullanılarak denemeler yapılmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkesinde peyzaj maksatlı dikimi yapılmış olan biberiye plantasyonlardan hasat edilerek laboratuvara getirilen kurutma materyallerinin tartımları yapılarak kurutma raflarına yerleştirilmiştir. Biberiye kurutma amacıyla 42, 45 ve 48 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta deneme yapılmıştır (Şekil 3.18).



Hasat



Ağırlık ölçümü



Kurutma sonu



Örnek alımı

Şekil 3.18 Biberiye hasadı, tartım ve kurutma denemeleri

Nem içeriği, ürün içerisinde bulunan bağlı nemin bir ölçüsüdür. Nem içeriği yaş baza (y.b.) ve kuru baza (k.b.) göre olmak üzere iki farklı şekilde incelenmektedir (Boyar vd., 2013'den; Kaya ve Aydın, 2008).

$$\text{Nem içeriği (y.b.) (\%): } N_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Nem içeriği (k.b.): } N_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \quad (2)$$

Burada;

M_s : Ürün içerisindeki suyun kütlesi

M_k : Ürünün kuru kütlesi

Ayrılabilir nem oranı (MR): ürünün herhangi bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (N_t), başlangıç anındaki nem içeriğine (N_c) oranı olarak ifade edilmektedir (Türk ve ark, 2003).

$$MR = \frac{N_t}{N_c} \quad (3)$$

Kuruma Hızı (D_R): Kurutma sırasında ürünlerdeki nem içeriğinin birim zamandaki değişimidir (Darıcı ve Şen, 2012).

$$D_R = \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (4)$$

$N(t)$: t anındaki kuru baza göre nem içeriği

$N(t+\Delta t)$: t+Δt anındaki kuru baza göre nem içeriği

Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü kurutma laboratuvarında bulunan raflı kurutucu sıcaklık, nem sensörleri ile donatılmıştır. Veri alım sıklığı, sıcaklık ve nem sensörlerinden saniyede 10 veri, ağırlık sensörlerinden 10 saniyede 1 veri olarak ayarlanmıştır. Kurutucu taze hava girişi, nemli hava çıkışı ve dış ortam sıcaklık ve nem değerleri HOBO data logger U12-013 tipi sıcaklık-nem-ışık şiddeti ölçüm cihazı ile denemeler süresince kaydedilmiştir.

Elde edilen veriler sıcaklık değerleri ve raflara göre temel istatistik değerlendirmeler yapılarak nem oranı (y.b.), nem oranı (k.b.), ayrılabilir nem oranı ve kurutma hızı değişimleri ortaya koyulmuştur. Kurutma başlangıcı ve sonunda alınan örneklerin etüvde nem düzeyleri belirlenirken, renk ve uçucu yağ miktarı değişimleri tespit edilmiştir.

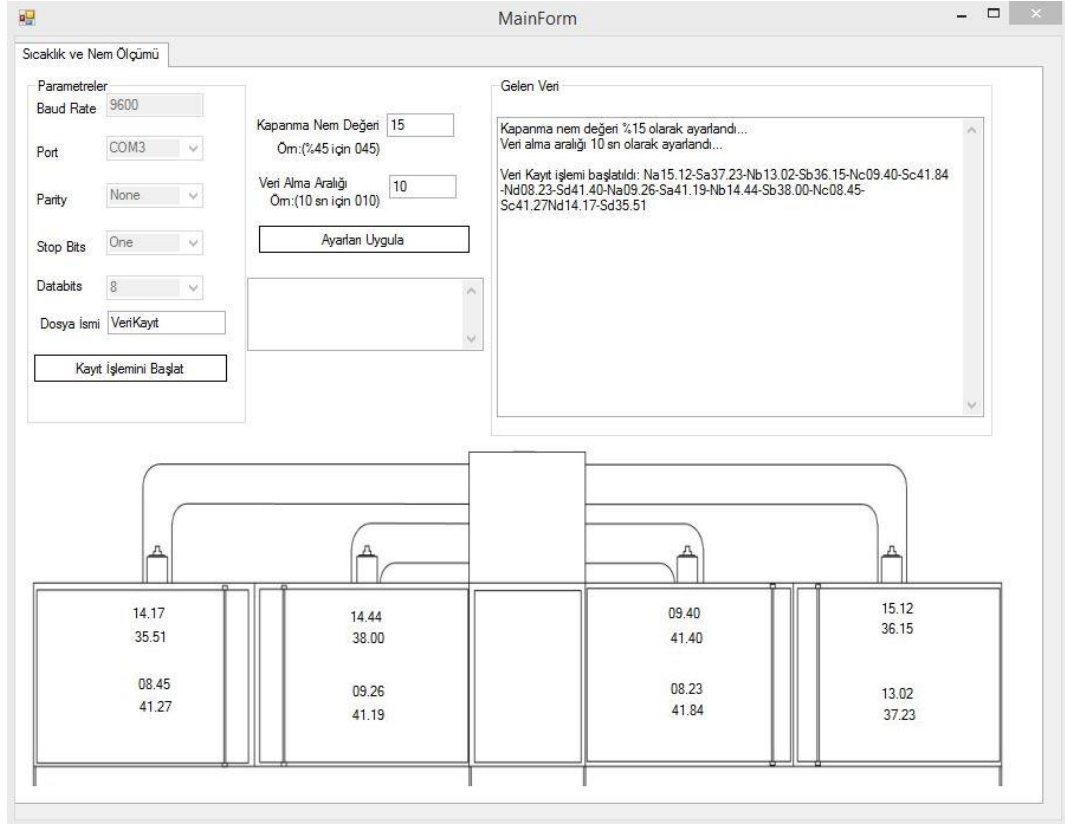
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Sıcaklık-nem ve ağırlık ölçüm sistemleri elektronik devre ve yazılım geliştirme

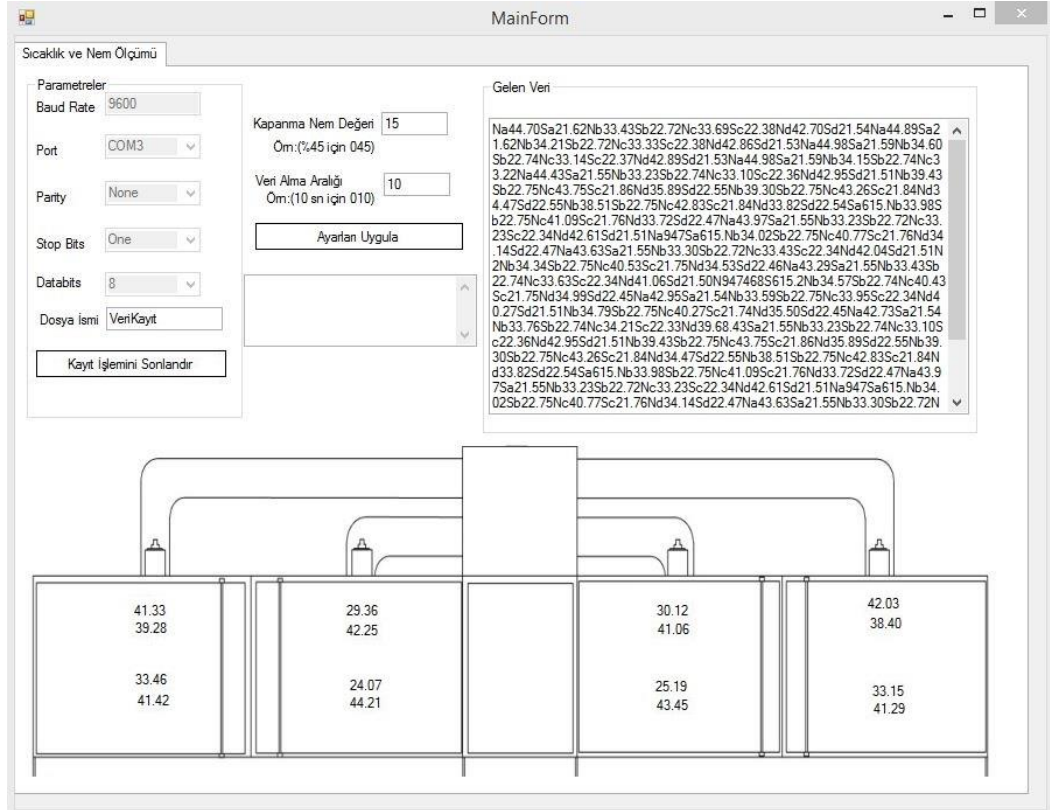
Sıcaklık ve nem ölçüm sistemine ait elektronik devre ve buna uygun olarak yazılım tasarlanmıştır. Sistemin tasarım parametrelerine göre beklenen işlevleri yerine getirme durumu test edilmiştir. Buna göre, öncelikle kayıt ve izleme bilgisayarı üzerinden sıcaklık ve nem ölçüm arayüz ekranından sensörler ve veri aktarım devresinin haberleşmesine ilişkin parametrelerin girişi ve kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Kurutulacak ürünün özelliklerine göre kurutmanın sonlandırılması için sistemin durdurulması amacıyla hedeflenen ortam nem değerinin girilmesi ve veri alma sıklığının set edilmesi sonrasında "Ayarları Uygula" butonu ile ayarlar kayıt altına alınmaktadır. "Kapanma nem değeri" kurutucu sağ ya da sol veri aktarma devresi üzerinden tercihli olarak raf giriş ve çıkışlarındaki 4 ölçüm noktasından elde edilen nem değerlerinin ortalaması olarak karar verecek şekilde tasarlanmıştır. Sensörler ile kayıt ve izleme bilgisayarı arasındaki haberleşme ve gerekli ayarların yapılması sonrasında "Kayıt İşlemini Başlat" butonu ile veri akışı sağlanmaktadır. Gelen verilerin akışının gözlendiği bölmede kurutma sonlandırma nem düzeyi, veri alma aralığı ve veri kaydının başladığına ilişkin bilgiler yer almaktadır (Şekil 4.1).

Kayıt işleminin başlatılması sonrasında gelen veri bölümünde alınan verilerin akışı görülmektedir. Bu sırada " Kayıt İşlemini Sonlandır" butonu aktif halde olup, istenmesi halinde sonlandırılabilir (Şekil 4.2).

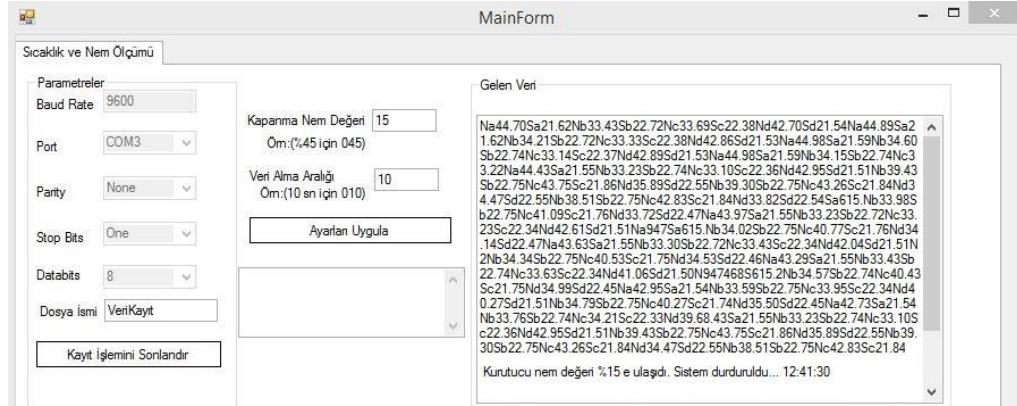


Şekil 4.1 Sıcaklık ve nem ölçüm programı ayarları ve veri alımının başlatılması



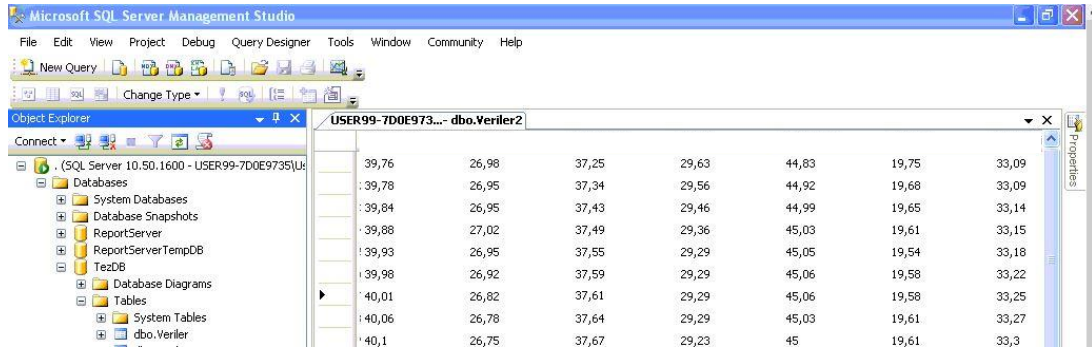
Şekil 4.2. Sıcaklık ve nem ölçüm programı veri akışı

Ortam havasının nem düzeyinin ayarlanan değere ulaşması sonrasında kurutma işlemi otomatik olarak sonlandırılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Sıcaklık ve nem ölçüm programının ayarlanan nem değerine ulaşıldığında kurutma sisteminin durdurulması

Ayarlanan veri alma sıklığına göre izlenen sıcaklık ve nem değerleri anlık olarak C# programlama dilinde yazılan yazılım ile MS-SQL server veri tabanına kaydedilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. Sıcaklık ve nem ölçüm programı veri kayıt ekranı

Ağırlık ölçüm programı veri kayıtları haberleşme portları üzerinden bilgisayar ve sensörler arasında iletişimin sağlanmasını takiben her bir rafa bağlı olan yük hücresinden "g" olarak kurutulan ürün ağırlıklarını izleme imkânı vermektedir (Şekil 4.5). Kurutma sonunda Notepad programına kaydedilen veriler, istatistiksel işlemler için MS Excel programına aktarılabilir (Şekil 4.6).

RAF I Port: COM35 RAF III Port: COM34

RAF II Port: COM36 RAF IV Port: COM37

Başlangıç saati: 10:13:07 Bitiş saati: 23:59:46

RAF I: 1367 gr RAF III: 1034 gr

RAF II: 1608 gr RAF IV: 1824 gr

Dosya ismi: 7022014devam3

KONTROL DURDUR BAŞLAT DURDUR

Şekil 4.5. Ağırlık ölçüm programı veri kayıt ekranı

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
1533	1848	1458	2104	17.02.2014 20:18:05
1527	1825	1415	2102	17.02.2014 20:18:05
1526	1808	1437	2102	17.02.2014 20:18:05
1528	1827	1418	2106	17.02.2014 20:18:05
1531	1822	1442	2093	17.02.2014 20:18:05
1544	1838	1453	2099	17.02.2014 20:18:05
1538	1852	1440	2099	17.02.2014 20:18:06
1539	1838	1436	2109	17.02.2014 20:18:06
1521	1855	1424	2100	17.02.2014 20:18:06
1527	1813	1423	2101	17.02.2014 20:18:06
1539	1799	1452	2095	17.02.2014 20:18:06
1547	1843	1445	2099	17.02.2014 20:18:06
1538	1847	1436	2098	17.02.2014 20:18:07
1533	1805	1432	2095	17.02.2014 20:18:07
1532	1806	1436	2101	17.02.2014 20:18:07
1535	1819	1435	2098	17.02.2014 20:18:07
1534	1830	1434	2100	17.02.2014 20:18:07

Veritabanı kayıt ekranı

	A	B	C	D	E	F	G
1	RAF I	RAF II	RAF III	RAF IV	Tarih	Saat	
2	1533	1848	1458	2104	17.2.2014	20:18:05	
3	1527	1825	1415	2102	17.2.2014	20:18:05	
4	1526	1808	1437	2102	17.2.2014	20:18:05	
5	1528	1827	1418	2106	17.2.2014	20:18:05	
6	1531	1822	1442	2093	17.2.2014	20:18:05	
7	1544	1838	1453	2099	17.2.2014	20:18:05	
8	1538	1852	1440	2099	17.2.2014	20:18:06	
9	1539	1838	1436	2109	17.2.2014	20:18:06	
10	1521	1855	1424	2100	17.2.2014	20:18:06	
11	1527	1813	1423	2101	17.2.2014	20:18:06	
12	1539	1799	1452	2095	17.2.2014	20:18:06	
13	1547	1843	1445	2099	17.2.2014	20:18:06	
14	1538	1847	1436	2098	17.2.2014	20:18:07	
15	1533	1805	1432	2095	17.2.2014	20:18:07	
16	1532	1806	1436	2101	17.2.2014	20:18:07	
17	1535	1819	1435	2098	17.2.2014	20:18:07	
18	1534	1830	1434	2100	17.2.2014	20:18:07	

MS Excel'e aktarılan veriler

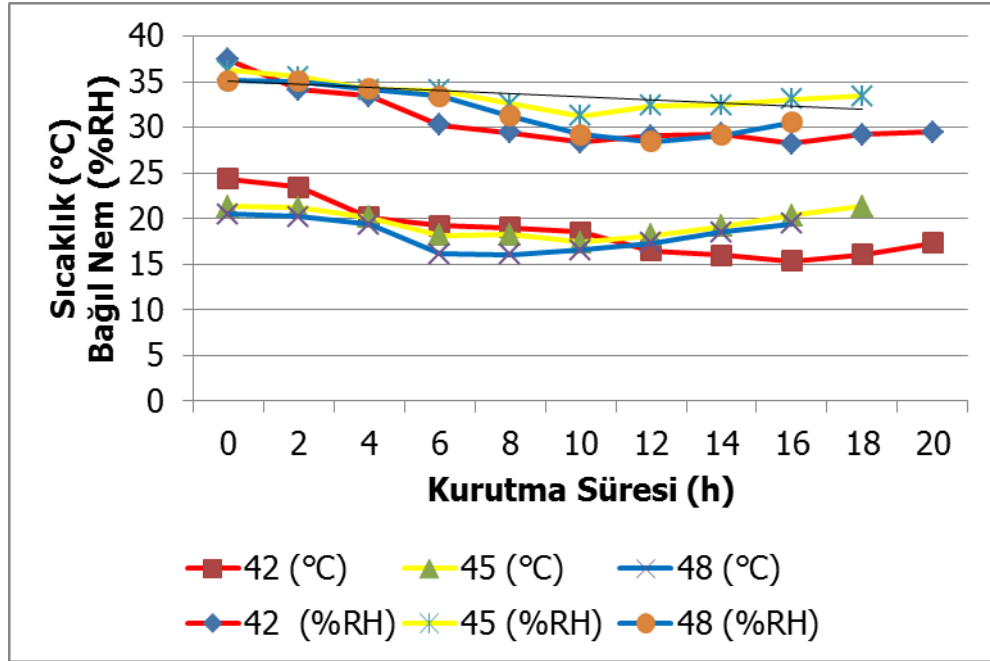
Şekil 4.6. Ağırlık ölçüm programı veri kayıtları ve MS Excel programına aktarılması

4.2 Biberiye Kurutma Denemeleri

Kurutucunun bulunduğu laboratuvar koşulları aynı zamanda çevre havasını temsil etmektedir. Kurutma denemeleri süresince çevre havası sıcaklık ve nem değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Nitekim, çevre havası sıcaklık değeri 18,22-19,73 °C ve nem değeri %30,74-33,50 arasında değişmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.7).

Çizelge 4.1. Dış ortam çevre havası ortalama sıcaklık ve nem değerleri

Ölçümler	Kurutma Denemeleri sırasında dış ortam verileri (°C)		
	42	45	48
Sıcaklık (°C)	18,71±2,979	19,53±1,510	18,22±1,756
Bağıl Nem (%RH)	30,74±2,940	33,50±1,526	31,81±2,674



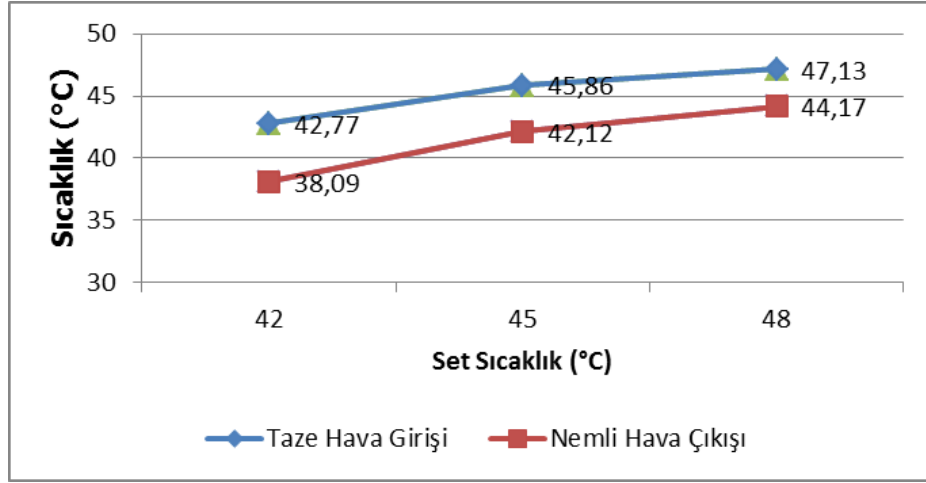
Şekil 4.7. Kurutma sırasında dış ortam ortalama sıcaklığı ve bağıl nemi

Biberiyenin kurutma materyali olarak kullanıldığı denemelerde 42, 45 ve 48 °C olarak ayarlanan kurutma havası sıcaklıklarında kurutucuya ait kurutma taze hava giriş ve kurutucudan nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değişimleri aşağıda yer almaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Yapılan denemelerde kurutma sisteminin taze hava giriş ve nemli hava çıkış özellikleri

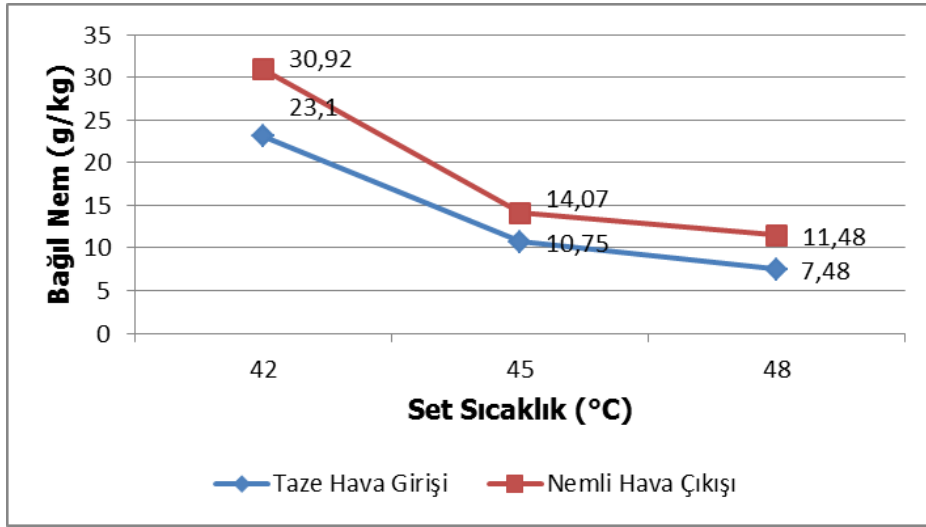
Set değeri	Taze hava girişi (°C)			Nemli hava çıkışı (°C)		
	42	45	48	42	45	48
Sıcaklık (°C)	41,57±1,564	45,15±0,872	47,13±1,261	37,93±1,468	42,12±0,981	44,17±0,624
Bağıl Nem (%RH)	14,41±3,301	21,72±3,726	7,48±3,807	15,65±4,134	28,01±3,724	11,48±4,621

Taze hava girişi ve nemli hava çıkış sıcaklıkları incelendiğinde, 42°C set değerinde yapılan denemede sıcaklık düşüşü 4,68 °C, 45 °C’de 3,74 °C, 48 °C’de ise 2,96 °C olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kurutucu taze hava giriş ve nemli hava çıkış sıcaklık değişimi (°C)

Taze hava girişi ve nemli hava çıkış bağıl nem değerleri incelendiğinde 42°C set değerinde yapılan denemede bağıl nem artışı %7,82, 45 °C’de %3,32, 48 °C’de ise %4,00 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Kurutucu taze hava giriş ve çıkış bağıl nem değerleri (%RH)

Yapılan kurutma çalışmalarında kurutma raflarının birbiri ile kıyaslanabilmesi amacıyla aynı miktarda biberiye konulmuştur. Bu amaçla denemelerde 1000±0,000 g biberiye olacak şekilde hassas bir tartım yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Kurutucu sıcaklıklarına göre ürün ilk tartım ve son tartım değerleri

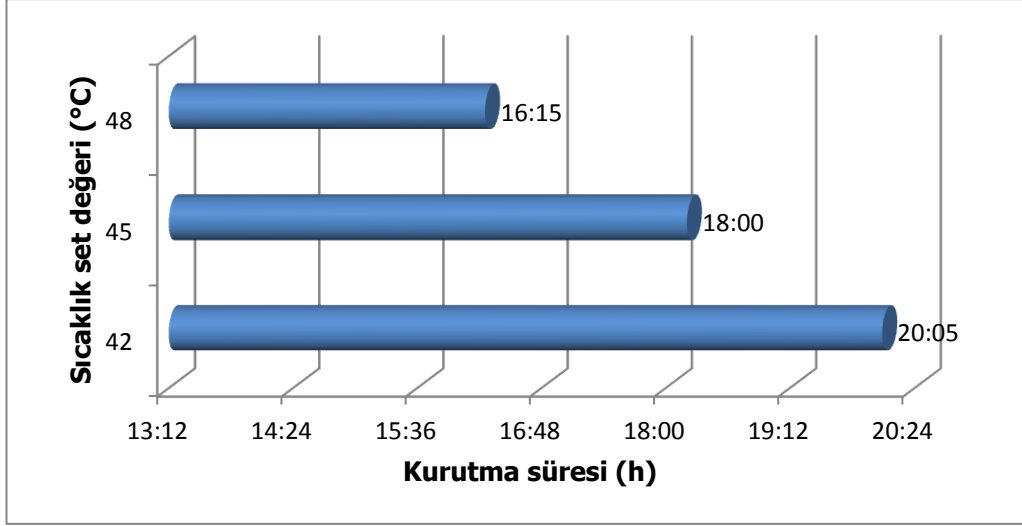
RAF	İlk Tartım (g)			Son Tartım (g)		
	42°C	45 °C	48 °C	42°C	45 °C	48 °C
R1	1000	1000	1000	614	540	455
R2	1000	1000	1000	528	425	402
R3	1000	1000	1000	536	444	398
R4	1000	1000	1000	609	522	487
Ortalama	1000	1000	1000	572	483	436

Kurutucuya konulan biberiyelerin kuruma sonunda raflara göre uzaklaştırılan su ve geriye kalan kuru ürün miktarları incelendiğinde, kurutucunun orta bölümünde yer alan RAF II ve RAF III'ün diğer raflara göre daha fazla kuruduğu görülmektedir. Nitekim, 48°C'de en fazla uzaklaştırılan su miktarı RAF III'te %60,22 ve RAF II'de %59,76 değeri elde edilmiştir ().

Çizelge 4.4. Biberiye kurutmada sıcaklıklara göre üründen uzaklaştırılan su ve elde edilen kuru ürün miktarı (%)

RAFLAR	Uzaklaştırılan su miktarı			Kuru ürün miktarı		
	42 °C	45 °C	48 °C	42°C	45 °C	48 °C
RAF I	38,60	46,01	54,50	61,40	53,99	45,50
RAF II	47,20	57,52	59,76	52,80	42,48	40,24
RAF III	46,40	55,56	60,22	53,60	44,44	39,79
RAF IV	39,10	47,78	51,28	60,90	52,22	48,72
Ortalama±Std. Sapma	42,83± 4,606	51,72± 5,672	56,44± 4,309	57,18± 4,606	48,28± 5,672	43,56± 4,306

Kuruma sıcaklığının artışı ile kuruma süresi arasında önemli bir ilişki bulunmakta olup, 42 °C sıcaklık düzeyinde kuruma süresinin 45 °C'ye göre %11, 48 °C'ye göre ise %25 daha uzun olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4).



Şekil 4.10 Sıcaklık set değerlerine göre biberiye kurutma süresi değişimi

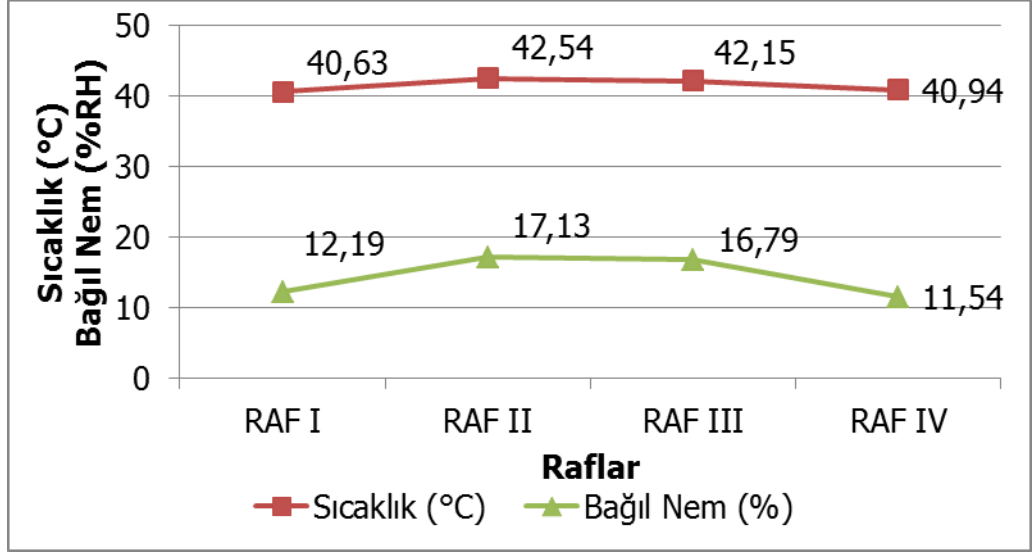
4.3 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (42 °C)

Hasat edilerek laboratuvara getirilen biberiyeler her rafa 1000 g olacak şekilde tartılarak kurutucu içerisine yerleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı 42 °C'ye ayarlanarak, raf hava çıkış klapeleri tam açık konuma getirilmiştir.

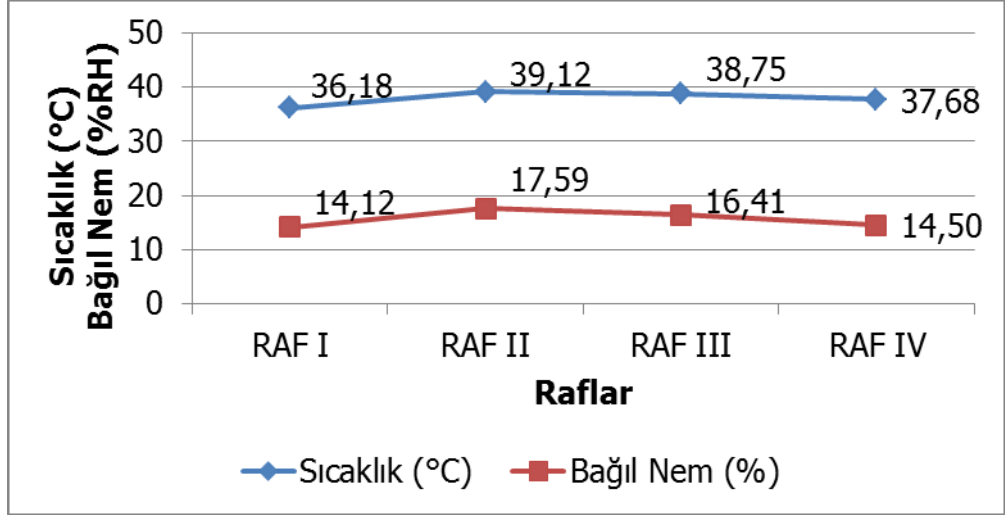
Kurutma süresi boyunca set edilen 42 °C değerinin ortalama 41,82 °C olarak kontrol edilebildiği, RAF I en düşük seviyesi olan ortalama 40,63 °C'e kadar indiği ve RAF II'de 43,54 °C'ye yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde ortalama bağıl nem değeri %15,66 olarak gerçekleşirken, RAF I ve RAF IV'te RAF II ve RAF III e göre daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5, Şekil 4.11, Şekil 4.12).

Çizelge 4.5. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (42 °C)

RAFLAR	Sıcaklık (°C)		Bağıl Nem (%)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
RAF I	40,63±1,492	38,18±1,782	12,19±3,126	14,12±3,331
RAF II	43,54±2,024	39,11±2,253	17,13±2,752	17,59±3,856
RAF III	42,15±1,105	38,75±2,154	16,79±4,721	16,41±3,373
RAF IV	40,94±2,891	37,68±2,294	11,54±3,822	14,54±4,714
Ortalama±Std. Sapma	41,82±1,872	38,43±2,121	14,40±3,603	15,66±3,822



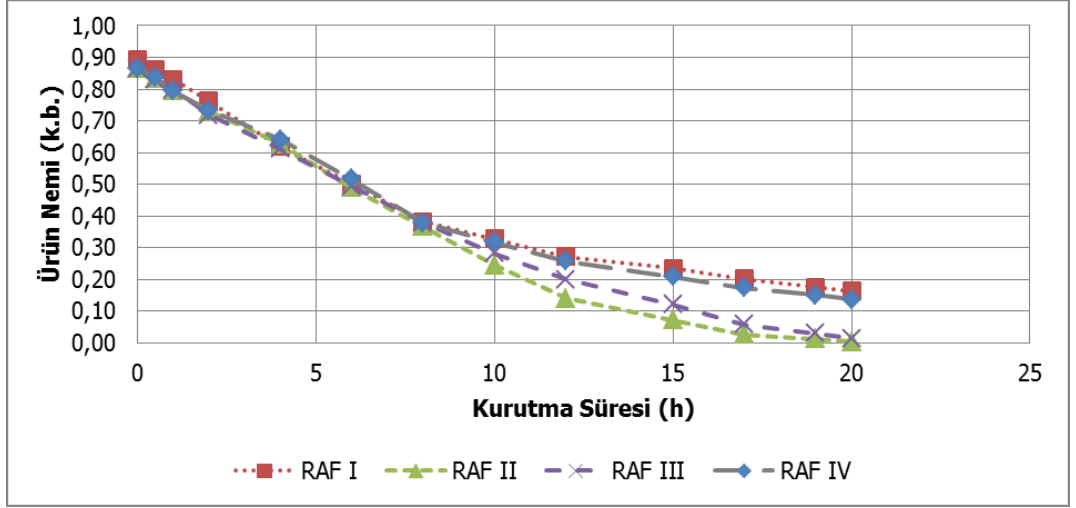
Şekil 4.11 Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (42 °C)



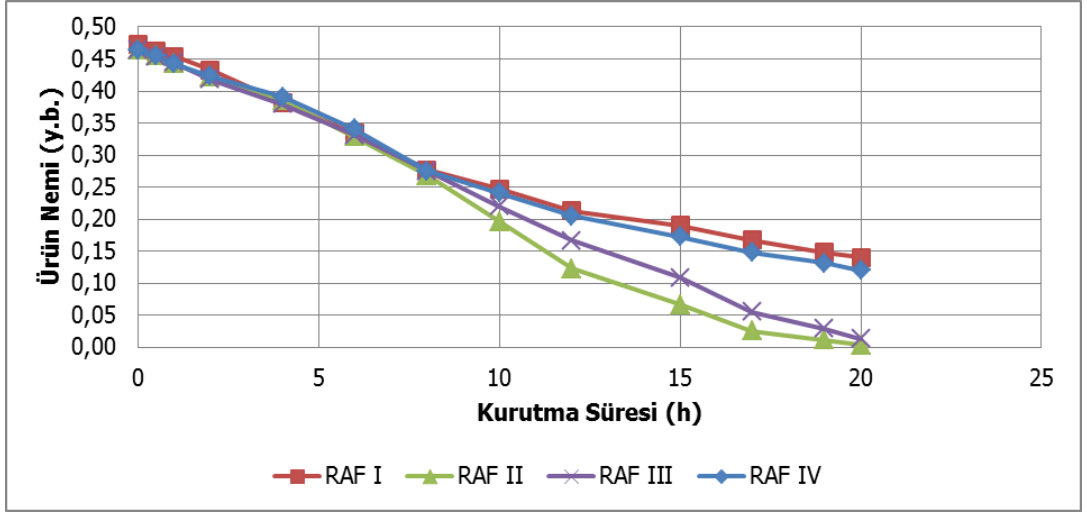
Şekil 4.12. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değişimi (42 °C)

Set sıcaklık değeri 42 °C'de yapılan kurutma denemelerinde her bir rafın ölçülen ağırlık kayıpları değerlendirilerek, kuru ve yaş baza göre ürün nemi, ayrılabilir nem oranı ve kurutma hızı değişimleri belirlenmiştir.

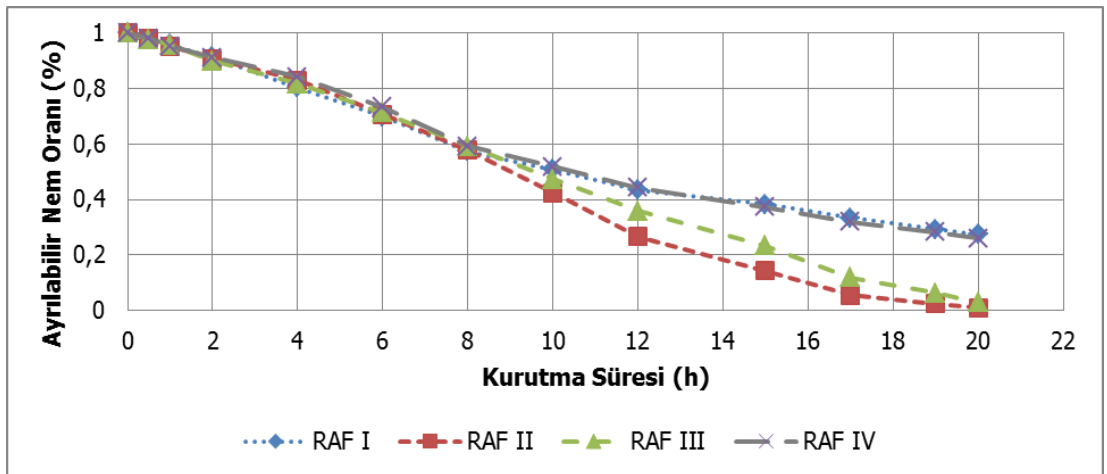
Kurutucu rafları karşılaştırmalı olarak kuru baz ve yaş baz ürün nemi ile kurutma koşullarından üründen ayrılabilen nemin oransal olarak değişimi yönüyle değerlendirildiğinde Raf II ve Raf III'ün diğer iki rafa göre daha hızlı kuruduğu görülmektedir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).



Şekil 4.13. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (42 °C)

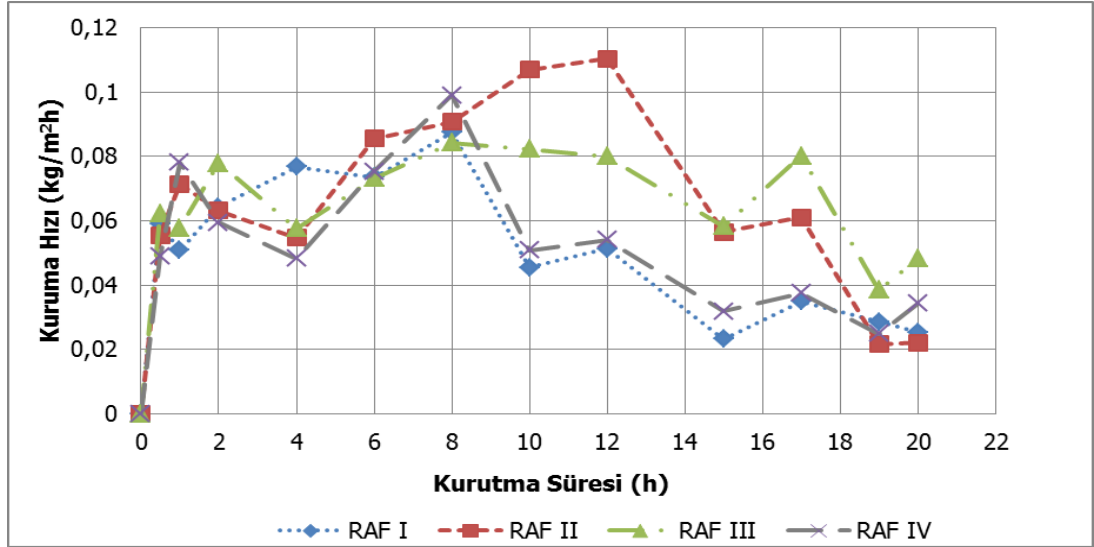


Şekil 4.14 Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (42 °C)



Şekil 4.15 Kurutucu raflarına göre ürün ayrılabilir nem oranı (42 °C)

Kurutmada raflara göre birim kurutma yüzey alanından bir saatte uzaklaştırılan nem miktarı olarak ifade edilen kuruma hızı 42 °C’de yapılan denemede Raf II ve Raf III’ün daha hızlı kuruduğu görülmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (42 °C)

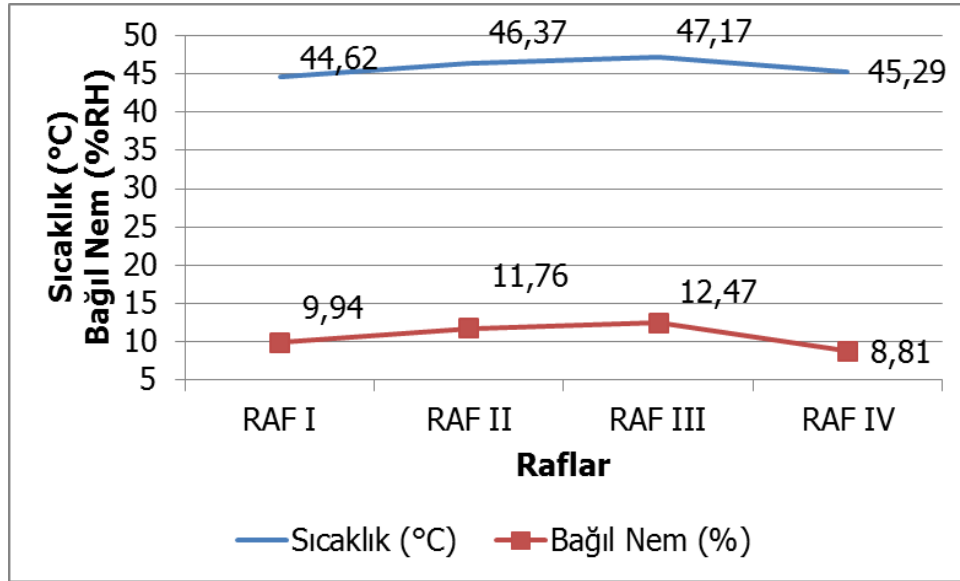
4.4 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (45 °C)

Hasat edilerek laboratuvara getirilen biberiyeler her rafa 1000 g olacak şekilde tartılarak kurutucu içerisine yerleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı 45 °C’ye ayarlanarak, raf hava çıkış klapeleri tam açık konuma getirilmiştir.

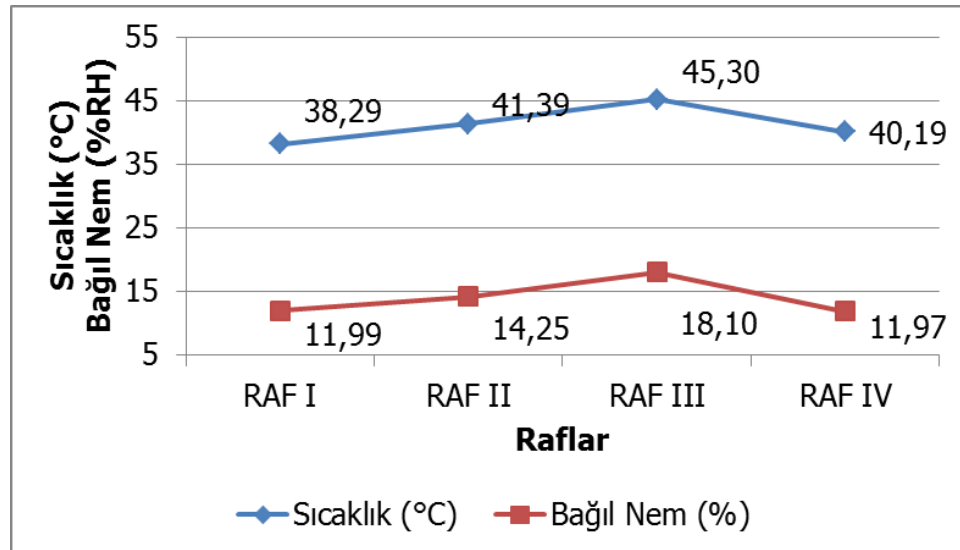
Kurutma süresi boyunca set edilen 45 °C değerinin ortalama 45,86 °C olarak kontrol edilebildiği, RAF I en düşük seviyesi olan ortalama 44,62 °C’ye kadar indiği ve RAF III’de 47,17 °C’ye yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde ortalama bağıl nem değeri %14,07 olarak gerçekleşirken, RAF I ve RAF IV’te RAF II ve RAF III’e göre daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17, Şekil 4.18).

Çizelge 4.6. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (45 °C)

RAFLAR	Sıcaklık (°C)		Bağıl Nem (%)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
RAF I	44,62±1,804	38,29±2,557	9,94±3,928	11,99±4,444
RAF II	46,37±2,427	41,39±1,908	11,76±4,313	14,25±4,847
RAF III	47,17±2,531	45,30±1,834	12,47±4,414	18,10±5,807
RAF IV	45,29±1,814	40,19±1,616	8,81±3,966	11,97±4,450
Ortalama±Std. Sapma	45,86±1,043	42,12±1,072	9,94±3,928	11,99±4,444



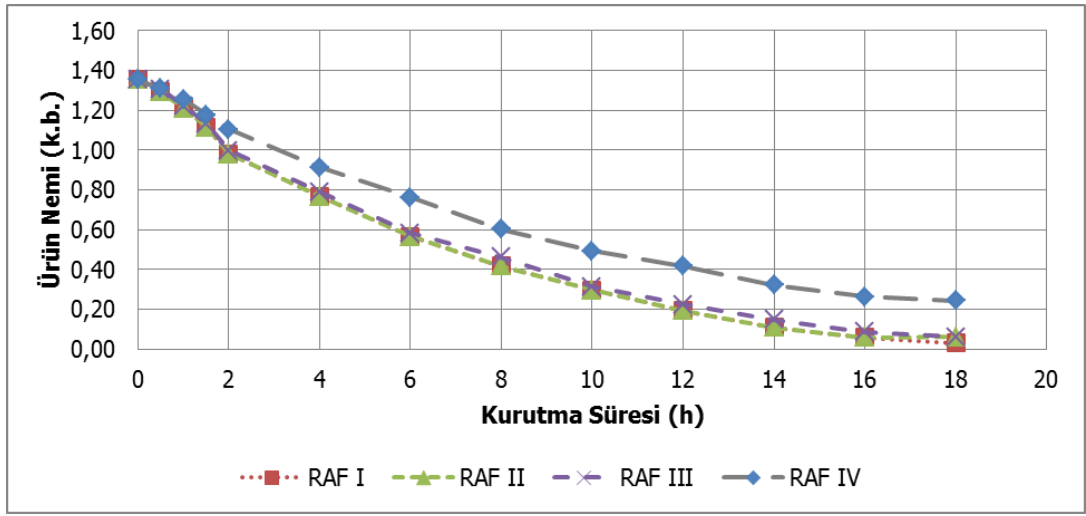
Şekil 4.17. Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (45 °C)



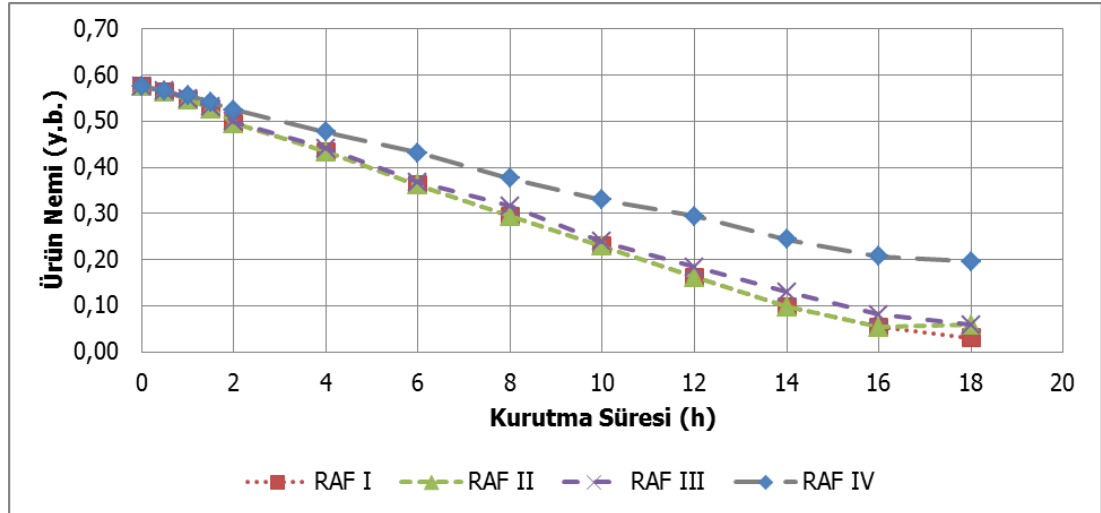
Şekil 4.18. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değerleri (45 °C)

Set değeri 45 °C’de yapılan kurutma denemelerinde raflardan ölçülen ağırlık kayıpları değerlendirilerek, kuru ve yaş baza göre ürün nemi, ayrılabilir nem oranı ve kurutma hızı eğrileri ortaya koyulmuştur (Şekil 4.19, Şekil 4.20 , Şekil 4.21).

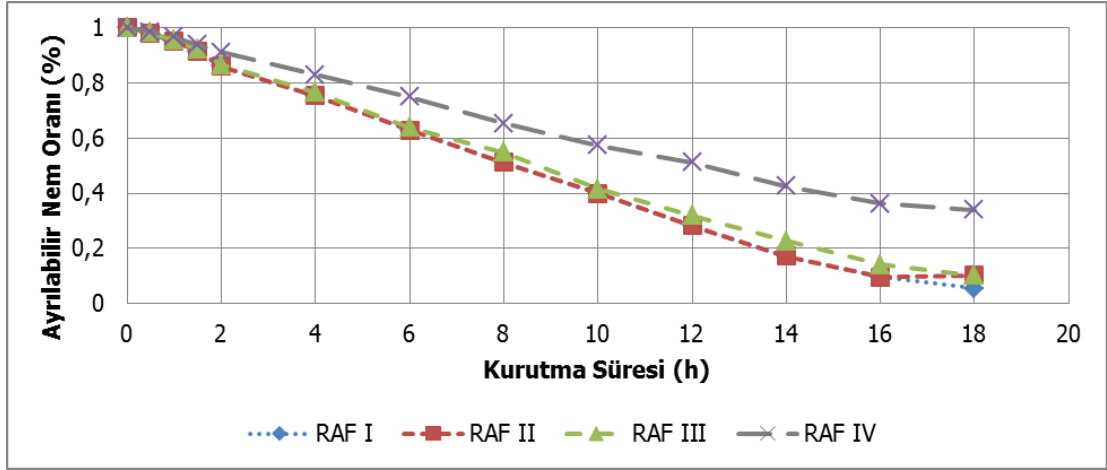
Kurutucu rafları karşılaştırmalı olarak kuru baz ve yaş baz ürün nemi ile kurutma koşullarından üründen ayrılabilen nemin oransal olarak değişimi yönüyle değerlendirildiğinde Raf II ve Raf III’ün diğer iki rafa göre daha hızlı kuruduğu görülmektedir.



Şekil 4.19. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (45 °C)

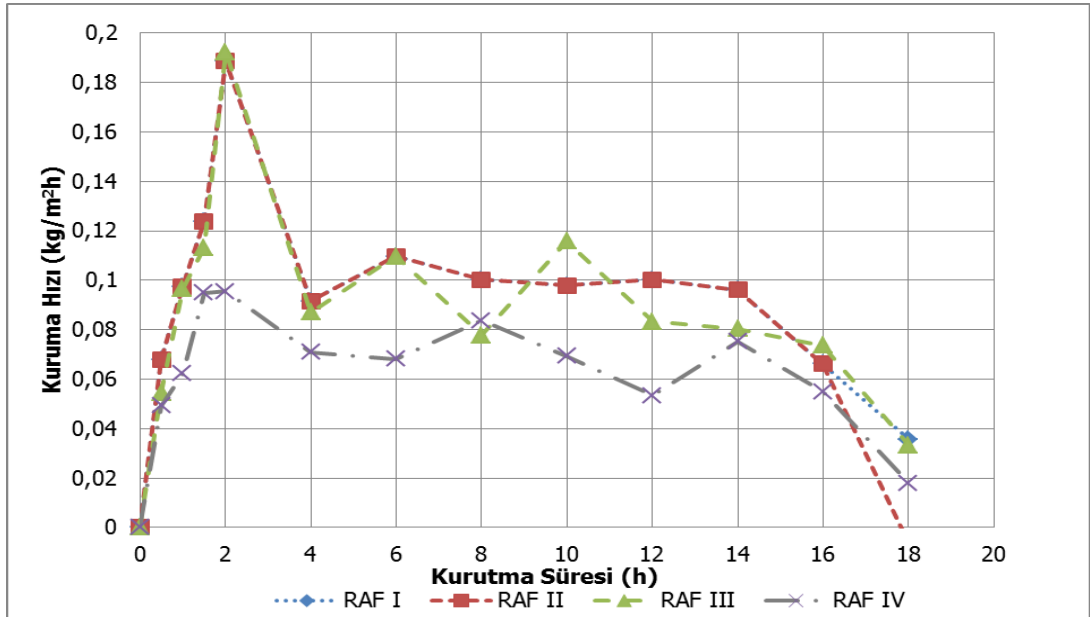


Şekil 4.20. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (45 °C)



Şekil 4.21. Kurutucu raflarına göre ürün ayrılabilir nem oranı (45 °C)

Kurutmada raflara göre birim kurutma yüzey alanından bir saatte uzaklaştırılan nem miktarı olarak ifade edilen kuruma hızı 45 °C’de yapılan denemede Raf II ve Raf III’ün daha hızlı kuruduğu görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (45 °C)

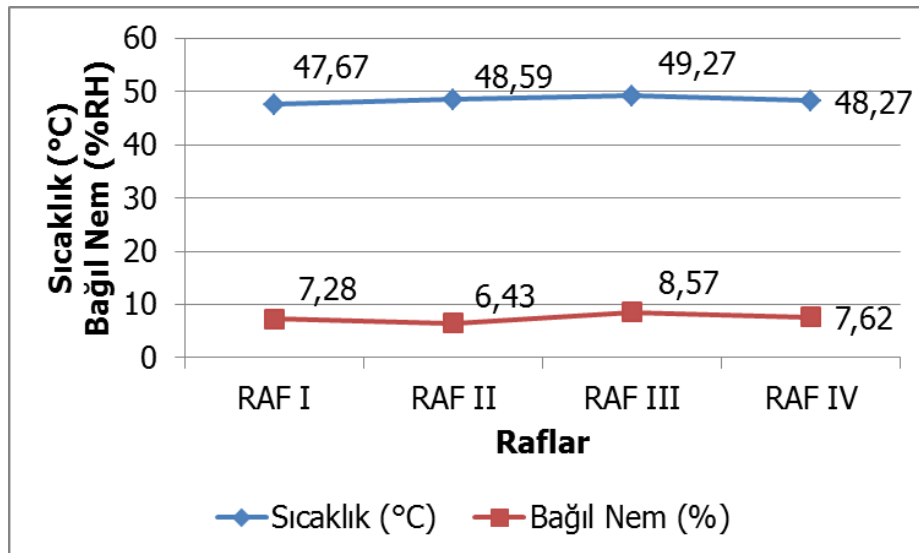
4.5 Biberiye kurutma denemelerinin değerlendirilmesi (48 °C)

Hasat edilerek laboratuvara getirilen biberiyeler her rafa 1000 g olacak şekilde tartılarak kurutucu içerisine yerleştirilmiştir. Kurutma sıcaklığı 42 °C'ye ayarlanarak, raf hava çıkış klapeleri tam açık konuma getirilmiştir.

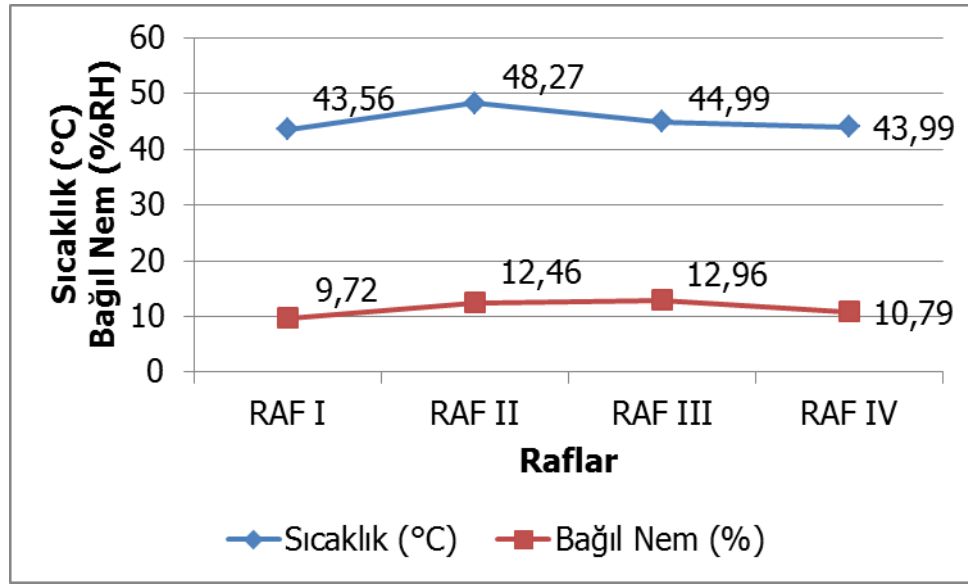
Kurutma süresi boyunca set edilen 48 °C değerinin ortalama 48,45 °C olarak kontrol edilebildiği, RAF I en düşük seviyesi olan ortalama 47,67 °C'ye kadar indiği ve RAF III'de 49,27 °C'ye yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde ortalama bağıl nem değeri %11,48 olarak gerçekleşirken, RAF I ve RAF IV'te RAF II ve RAF III e göre daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7, Şekil 4.23, Şekil 4.24).

Çizelge 4.7. Kurutucu raflarına göre kurutma havası özellikleri (48 °C)

RAFLAR	Sıcaklık (°C)		Bağıl Nem (%)	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
RAF I	47,67±0,453	43,56±0,751	7,28±3,884	9,72±4,382
RAF II	48,59±1,481	48,27±1,582	6,43±3,531	12,46±5,093
RAF III	49,27±1,582	44,99±0,753	8,57±4,053	12,96±5,101
RAF IV	48,27±1,584	43,99±0,755	7,62±3,755	10,79±3,894
Ortalama	48,45±1,290	44,17±0,631	7,48±3,813	11,48±4,630



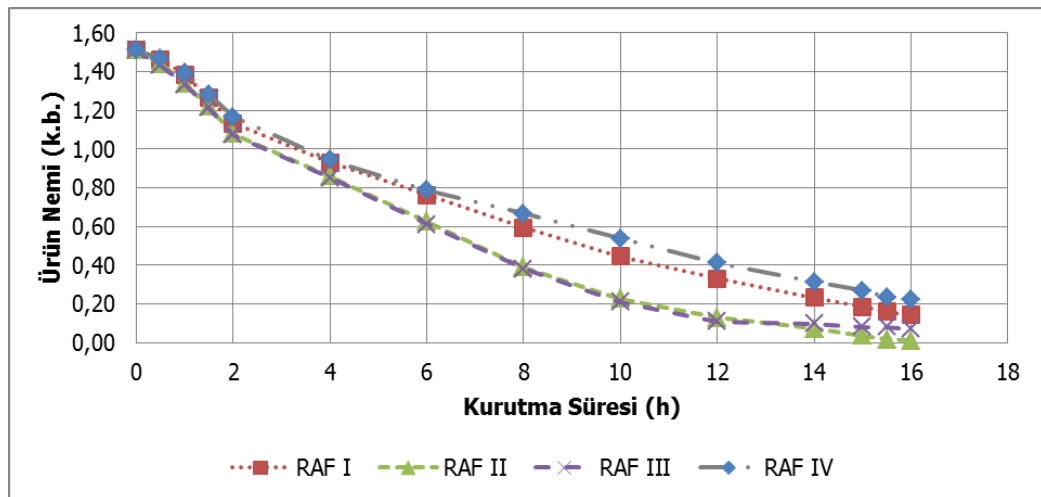
Şekil 4.23. Raflara göre taze hava giriş sıcaklık ve bağıl nem değerleri (48 °C)



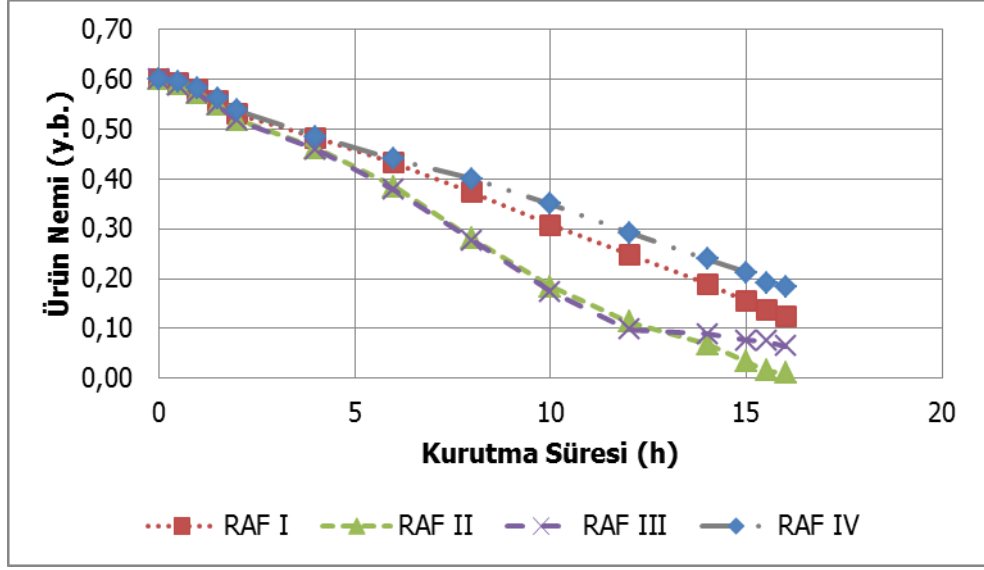
Şekil 4.24. Raflara göre nemli hava çıkış sıcaklık ve bağıl nem değerleri (48 °C)

Set sıcaklık değeri 48 °C’de yapılan kurutma denemelerinde her bir rafın ölçülen ağırlık kayıpları değerlendirilerek, kuru ve yaş baza göre ürün nemi, ayrılabilir nem oranı ve kurutma hızı değişimleri belirlenmiştir.

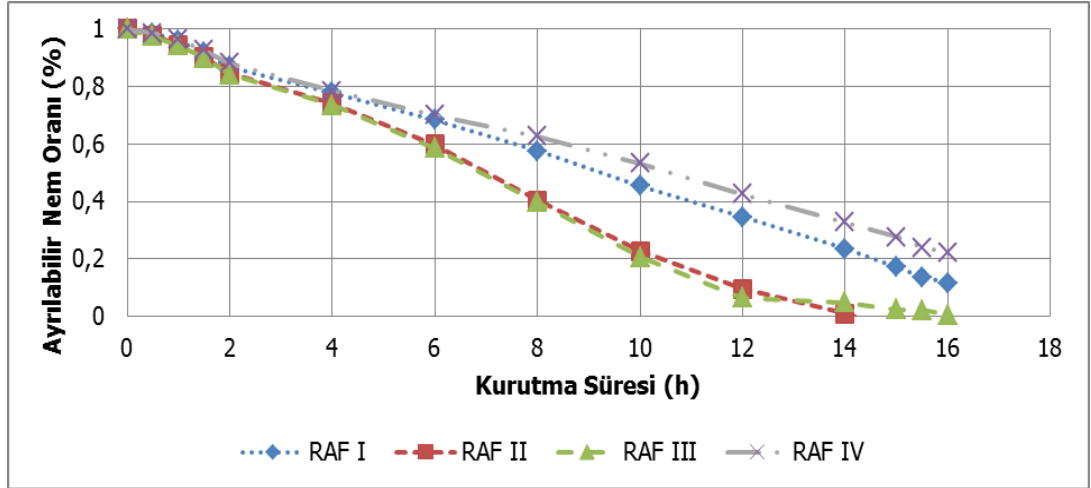
Kurutucu rafları karşılaştırmalı olarak kuru baz ve yaş baz ürün nemi ile kurutma koşullarından üründen ayrılabilen nemin oransal olarak değişimi yönüyle değerlendirildiğinde Raf II ve Raf III’ün diğer iki rafa göre daha hızlı kuruduğu görülmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7).



Şekil 4.25. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (k.b.) değişimi (48 °C)

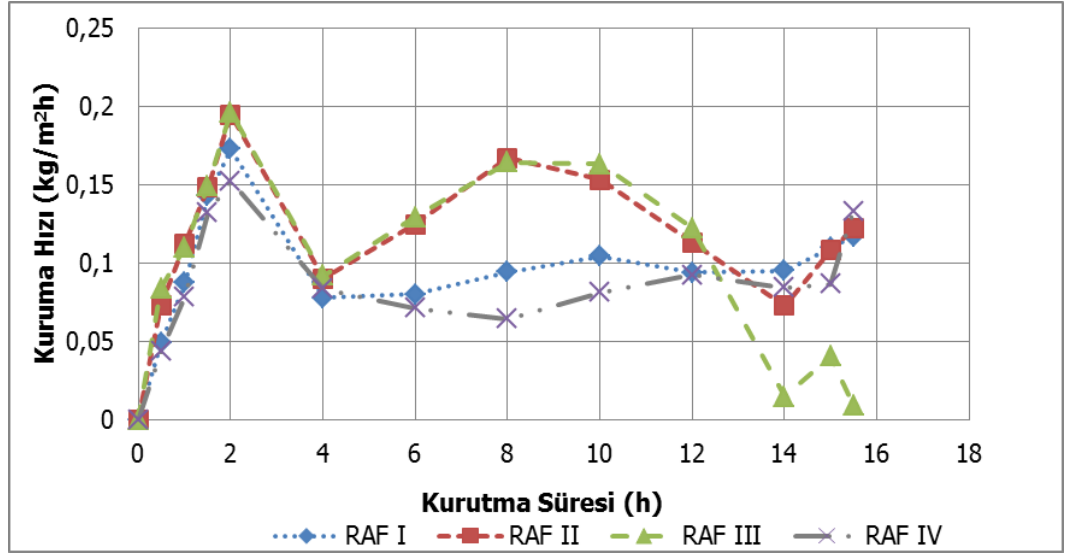


Şekil 4.26. Kurutma süresince raflara göre ürün nemi (y.b.) değişimi (48 °C)



Şekil 4.27. Kurutma süresince raflara göre ayrılabilir nem oranı değişimi (48 °C)

Kurutmada raflara göre birim kurutma yüzey alanından bir saatte uzaklaştırılan nem miktarı olarak ifade edilen kuruma hızı 48 °C'de yapılan denemede Raf II ve Raf III'ün daha hızlı kuruduğu görülmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Kurutucu raflarına göre ürün kuruma hızı (48 °C)

4.6 Hava hızı ölçümleri

Kurutma denemelerinde raf çıkış noktalarında kanallarda hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Buna göre hava hızının kanallarda 0,02-0,03 m²/sn arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Kurutma sıcaklıklarına göre hava hızı ölçüm değerleri (m²/sn)

Ölçüm Noktası	42 °C	45 °C	48 °C	Ortalama
1	0,03	0,03	0,03	0,03±0,000
2	0,02	0,02	0,02	0,02±0,001
3	0,04	0,03	0,04	0,03±0,001
4	0,04	0,03	0,04	0,03±0,001
5	0,03	0,03	0,03	0,03±0,001
6	0,03	0,03	0,03	0,03±0,001

4.7 Renk Ölçüm Sonuçları

Renk muhafazası kurutulmuş gıdalar için büyük önem taşımaktadır. Ürünün fiziksel kalite özelliklerinden en önemli olanlardan biri renk olup tüketici için tercih sebebidir.

Kurutma öncesi taze biberiyelerin renk ölçümlerinden elde edilen veriler incelendiğinde ortalama L* değeri 41,76, a* değeri -3,87 ve b* değeri 11,24 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Taze biberiye bitkisinin renk değerleri

Tekerrürler	L*	a*	b*
1.Tekerrür	41,00	-3,97	11,43
2.Tekerrür	45,21	-3,52	11,71
3.Tekerrür	45,58	-3,62	12,46
4.Tekerrür	39,10	-3,37	10,18
5.Tekerrür	43,56	-3,88	10,12
6.Tekerrür	41,78	-3,93	11,45
7.Tekerrür	36,65	-5,05	11,12
8.Tekerrür	41,18	-3,06	11,26
9.Tekerrür	49,31	-3,80	11,35
10.Tekerrür	34,31	-4,58	11,39
Ortalama	41,76±4,42	-3,87±0,58	11,24±0,68

Kurutma sonrası 42°C kurutulmuş biberiyelerin renk ölçümlerinden elde edilen veriler incelendiğinde ortalama L* değeri 9,48, a* değeri 10,22 ve b* değeri 6,88 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. 42°C'de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri

Tekerrürler	L*	a*	b*
1. Tekerrür	8,79	9,54	6,33
2. Tekerrür	8,61	9,34	6,12
3. Tekerrür	8,73	9,38	6,38
4. Tekerrür	6,01	6,43	4,30
5. Tekerrür	11,70	12,57	8,46
6. Tekerrür	8,87	9,56	6,25
7. Tekerrür	10,68	11,61	7,81
8. Tekerrür	11,07	11,98	8,25
9. Tekerrür	12,15	13,02	8,84
10. Tekerrür	8,18	8,78	6,06
Ortalama	9,48±1,880	10,22±2,030	6,88±1,410

Kurutma sonrası 45°C kurutulmuş biberiyelerin renk ölçümlerinden elde edilen veriler incelendiğinde ortalama L* değeri 10,84, a* değeri 11,47 ve b* değeri 8,04 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. 45°C'de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri

Tekerrürler	L*	a*	b*
1. Tekerrür	11,533	12,098	8,795
2. Tekerrür	10,011	10,780	7,363
3. Tekerrür	11,246	11,728	8,154
4. Tekerrür	12,505	13,547	9,056
5. Tekerrür	7,076	7,388	5,287
6. Tekerrür	6,588	6,750	4,805
7. Tekerrür	9,814	10,493	7,098
8. Tekerrür	11,338	11,982	8,764
9. Tekerrür	15,735	16,375	11,996
10. Tekerrür	12,547	13,517	9,118
Ortalama	10,84±2,680	11,47±2,860	8,04±2,060

Kurutma sonrası 48°C kurutulmuş biberiyelerin renk ölçümlerinden elde edilen veriler incelendiğinde ortalama L* değeri 10,67, a* değeri 11,29 ve b* değeri 7,75 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. 48°C'de kurutulan biberiye bitkisinin renk değerleri

Tekerrürler	L*	a*	b*
1. Tekerrür	8,33	8,79	5,86
2. Tekerrür	7,96	8,54	5,37
3. Tekerrür	8,97	9,63	6,14
4. Tekerrür	16,91	17,34	14,52
5. Tekerrür	12,35	13,15	9,15
6. Tekerrür	10,70	11,43	6,98
7. Tekerrür	10,50	11,09	7,40
8. Tekerrür	12,08	12,96	8,25
9. Tekerrür	9,76	10,31	7,03
10. Tekerrür	9,13	9,60	6,72
Ortalama	10,67±2,640	11,29±2,650	7,75±2,630

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kurutucu ve otomasyon sistemi performansı için değerlendirme ve öneriler

Araştırma sonucu olarak ortaya koyulan laboratuvar tipi raflı kurutucuya ait sıcaklık ve nem ölçüm sisteminde sıcaklık sensörü ve veri aktarım için ayrı ayrı 2 devre tasarımı yapılmıştır. Sıcaklık ve nem ölçüm donanımı ve tartım sistemi için 2 ayrı yazılım hazırlanarak verilerin bilgisayar ortamına aktarımı başarı ile gerçekleştirilmiştir. Biberiye bitkisinin kurutma materyali olarak seçildiği 42, 45 ve 48 °C sıcaklık set değerlerinde devrelerin ve yazılımın çalışma performansı test edilmiştir. Araştırma kapsamında tasarlanan otomasyon sisteminin kayıt ve izleme bilgisayarı üzerinden sıcaklık ve nem ölçüm arayüz ekranından sensörler ve veri aktarım devresinin haberleşmesinde herhangi bir sorun yaşanmadığı ve sağlıklı bir şekilde veri akışının sağlandığı ve istenen kurutucu içi ortam nem değerinin girilmesi halinde kurutmanın sonlandırılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Sistemin veri alma sıklığı istenen aralıkta ayarlanabilmektedir.

Sistem hâlihazırda 4 farklı ölçüm noktasından elde edilen nem değerlerinin ortalaması olarak karar vermektedir. Biberiye kurutma denemelerinde görüldüğü gibi RAF II ve RAF III diğer raflara göre daha hızlı kurumaktadır. Bu nedenle, kurutmanın 4 rafın ortalama nem değeri üzerinden kontrol edilerek sonlandırılması halinde özellikle RAF I ve RAF IV'te kurutmanın erken durdurulması anlamına gelebilecektir. Bu nedenle, sistemin kontrol amacı ile girilen son nem değerini en düşük nemin görüldüğü rafın belirlenerek uyarılması ve klapesinin kapatılarak o rafa ait kurutmanın sonlandırılması daha uygun görülmektedir. Bu nedenle, kurutucunun raflarının birbirinden bağımsız kontrolünün yapılması için yeni yazılımın geliştirilmesi ve kontrol sisteminin kurulmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Kurutucuya ait fan, sistem üzerine monte edildiği için ortaya çıkan titreşimin tartım sisteminden gelen verilerin güvenilirliğini oldukça yüksek düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Bunun için titreşimi azaltmak amaçlı önlem olarak

kurutucunun lastik tekerler üzerine alınması sorunun giderilmesinde yeterli olmadığı görülmüştür. Fanın, kurutucu ile irtibatının kesilerek ayrı bir platforma alınması ve kurutucu ile ilişkisinin kesilmesi tartım sisteminin başarısını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Kurutucunun RAF I ve RAF IV bölmelerinin dış ortam ile temas yüzey alanının RAF II ve RAF III'e göre geniş olması ve orta bölümde yer alan fan yardımıyla kurutma havasının önce RAF II ve RAF III'e daha sonra bu raflara aynı kanal üzerinden ulaşması nedeniyle ısı kayıpları yüksek olmaktadır. Buna bağlı olarak RAF I ve RAF IV'teki ürünün kuruma süresi uzamaktadır. Özellikle kurutma havasının raflara ulaşması sırasında temas halinde olduğu kanalların yalıtımının sağlanması raflar arası kurumanın dengelenmesine yardımcı olması beklenmektedir.

Kurutucunun ortalama enerji tüketiminin belirlenmesi için 45 °C sıcaklık set değerinde yapılan çalışmada ısıtıcının devreye girdiği ve fan ile birlikte çalışması halinde 7,61 A akım çekerken, 3,16 kW güç tüketimi gerçekleşmektedir. Sıcaklığı set değerine gelmesi sonrasında ısıtmanın otomatik olarak devre dışı kalması ile fan 0,22 A akım çekmekte ve 0,10 kW güç tüketmektedir. Bu işlem periyodik olarak ortalama 6.41 dk aralıklarla gerçekleşirken, ısıtıcı ortalama 1.33 dk çalışmaktadır (Çizelge 5.1, Şekil 5.1).

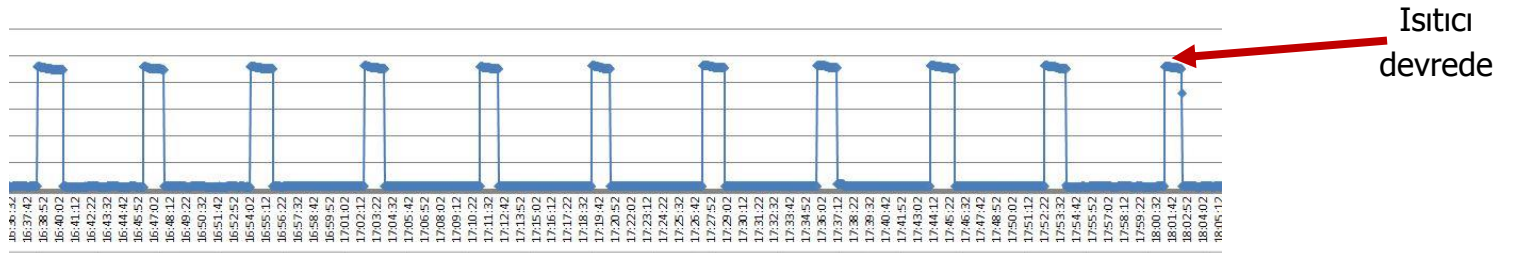
Çizelge 5.1. Biberiye kurutmada 45 °C sıcaklıkta kurutucunun güç tüketimi

Kurutucu	Süre (dk)	Akım (A)	Güç (kW)
Isıtıcı + Fan	1.33±00.11	7,61±0,041	3,16±0,032
Isıtıcı	1.33±00.11	7,39±0,041	3,06±0,032
Fan	6.41±00.22	0,22±0,032	0,10±0,012
Toplam	7.74	7,83	3,16

Kurutma süresine bağlı olarak toplam enerji tüketiminin sıcaklık artışı ile arttığı görülmektedir. Kurutma sıcaklıklarına göre özgül enerji tüketimleri incelendiğinde, uzaklaştırılan 1 kg su miktarı için ortalama 5,70 kWh ve 1 kg kuru ürün üretmek için ise ortalama 5,71 kWh enerji tüketilmektedir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Kurutma sıcaklıklarına göre kurutucu kapasitesi ve özgül enerji tüketimi

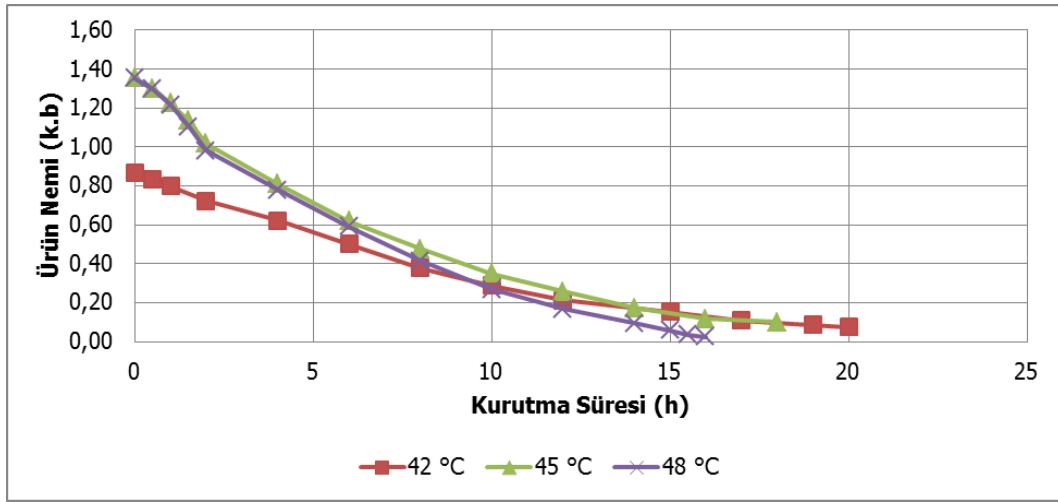
Kurutma Sıcaklığı	Kurutucu çalışma süresi	Kurutucuya Koyulan Ürün Miktarı (kg)		Uzaklaştırılan Su Miktarı	Saatlik Su Buharlaştırma Kapasitesi	Kurutucu Kapasitesi		Toplam Enerji Tüketimi	Özgül Enerji Tüketimi	
		Taze	Kuru			Taze kütle	Kuru kütle			
	1	2	3	4=2-3	5=4/1	6=2/1	7=3/1	8	9=8/4	10=8/3
°C	h	kg	kg	kg	kg/h	kg/h	kg/h	kWh	kWh/kg uzaklaştırılan su	kWh/kg kuru ürün
42	20,05	4,00	2,29	1,71	0,09	0,20	0,114	11,84	6,92	5,18
45	18,00	4,00	1,93	2,07	0,11	0,22	0,107	11,26	5,45	5,83
48	16,12	4,00	1,74	2,26	0,14	0,25	0,108	10,65	4,72	6,11
Ortalama	18,06	4,00	1,99	2,01	0,11	0,22	0,110	11,25	5,70	5,71



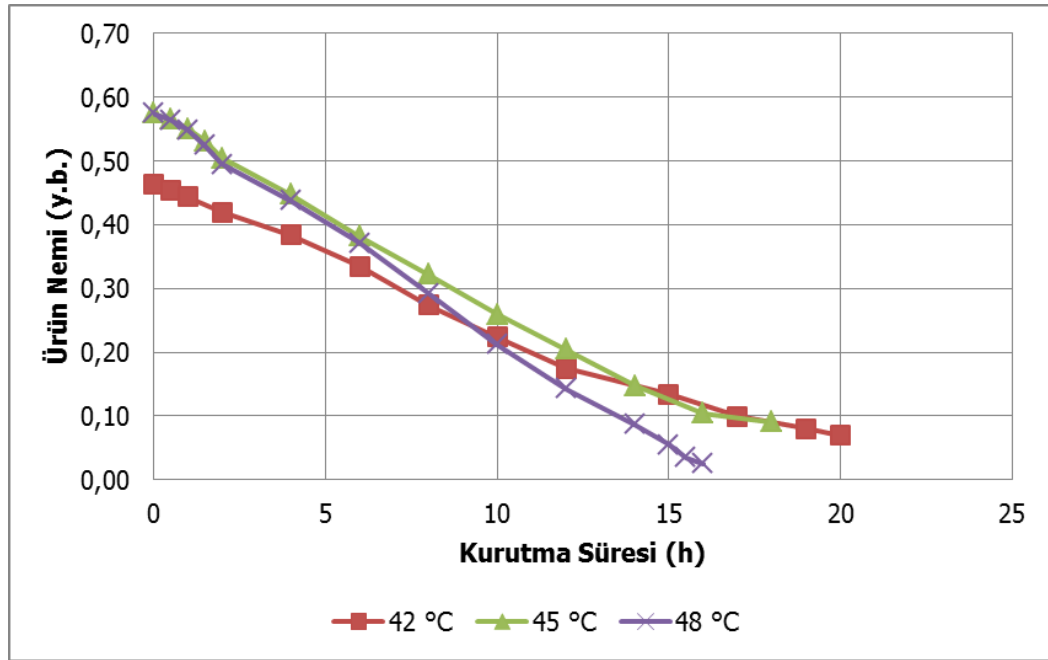
Şekil 5.1. Biberiye kurutmada ısıtma sistemi ve fanın çalışma düzeni

Biberiye Kurutması Deneme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Biberiye kurutma denemeleri 42, 45 ve 48 °C 'de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın set değerinin artışı bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır. Kurutmanın ilk ısınma evresinde kurutma hızı daha yüksek olurken, daha sonra düşüş gösterdiği görülmektedir. Ürün nemi son kuruma evresinde sabit hale gelmektedir (Şekil 5.2, Şekil 5.3).

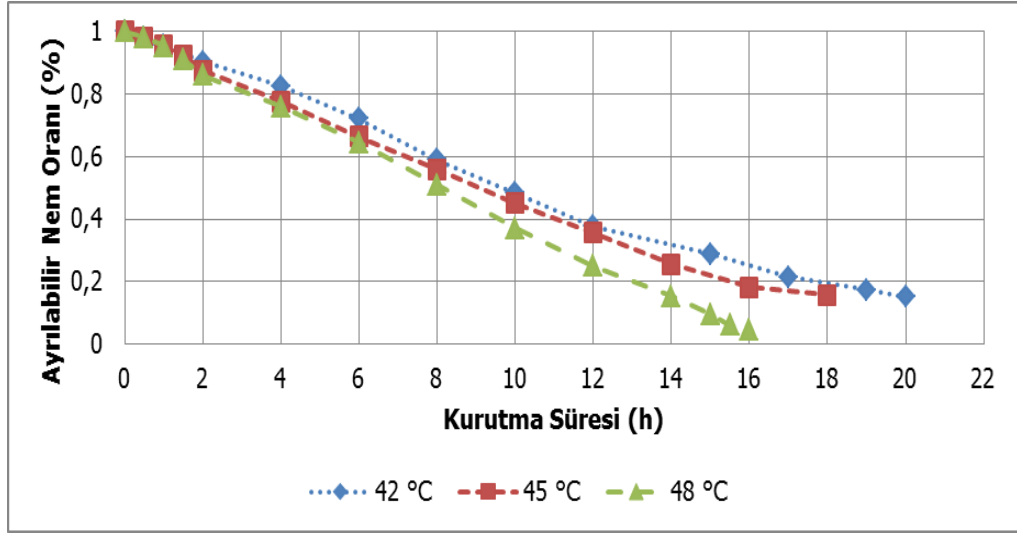


Şekil 5.2. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ürün neminin (k.b.) değişimi



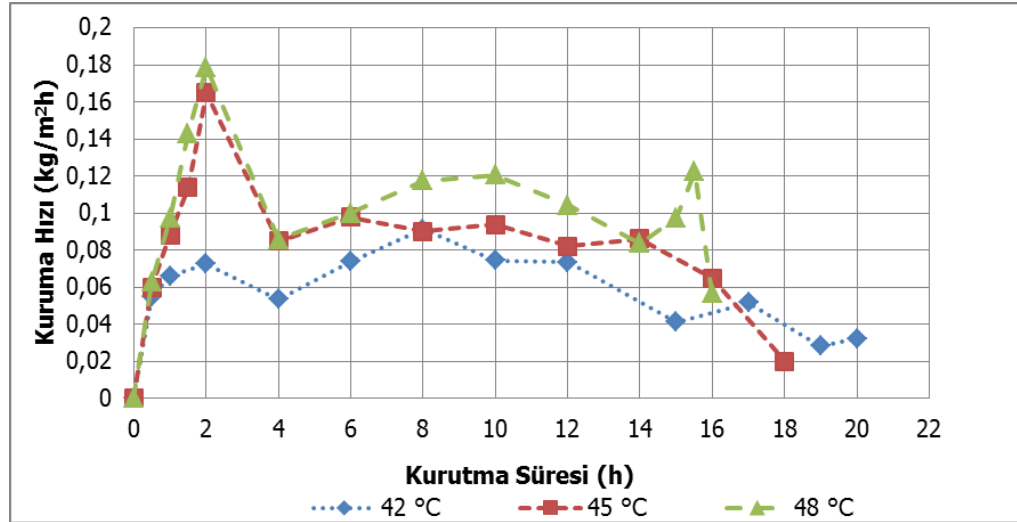
Şekil 5.3. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ürün neminin (y.b.) değişimi

Kurutma sıcaklıkları ayrılabilir nem oranı yönüyle değerlendirildiğinde 48 °C'nin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Kurutma süresince sıcaklıklara göre ayrılabilir nem oranı değişimi

Kuruma hızı bakımından değerlendirme yapıldığında, 45 ve 48 °C'nin 42 °C'ye göre göre ilk 4 saat içinde daha hızlı bir kuruma seyri izlediği açıkça görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Kurutma sıcaklıklarına göre ürün kuruma hızı değişimi

Sonuç olarak biberiye kurutma çalışmaları 42-45-48°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla, 16,12, 18,00 ve 20,05 saatte kuruma işlemi tamamlanmıştır. Hasat edilen ve farklı sıcaklıklarda kurutulan biberiyelerde yapılan yağ miktarının belirlenmesine yönelik distilasyon sonuçları incelendiğinde, taze biberiye örneklerine göre kuru biberiyelerde 42 °C’de %2,74, 45 °C’de %7,31 ve 48 °C’de ise %5,02 yağ kaybı olduğu görülmektedir (Çizelge 5.3). Meydana gelen bu kaybın, farklı kaynaklarda belirlenen biberiye yağ oranları dikkate alındığında % 0.34-0.24 (Kırıcı ve Çetin, 1997) % 0.39-0.90 (Kırpık, 1998) önemli bir kayıp olmadığı anlamına gelmektedir. Kurutma sıcaklığı artışına bağlı olarak bir miktar yağ kaybının olmasına rağmen bu kaybın göz ardı edilebileceği ifade edilebilir.

Çizelge 5.3. Taze ve kurutulmuş biberiye yağ miktarları (mg)

Ölçümler	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	Ortalama
42 °C	0,70	0,68	0,75	0,71±0,036
45 °C	0,70	0,70	0,63	0,68±0,040
48 °C	0,68	0,69	0,71	0,69±0,015
Taze Biberiye	0,72	0,74	0,73	0,73±0,010

Kurutmanın 42, 45, 48 °C olmak üzere üç farklı sıcaklık derecesinde kurutulan biberiyelerden yapılan renk ölçümlerini incelediğimizde, kurutulmuş biberiyeler arasında sıcaklık düzeyleri açısından renk parametreleri açısından farklılığın düşük düzeyde kaldığı, taze biberiyeye göre ise oldukça farklı olduğu görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Renk ölçüm yapılan kuru biberiye örnekleri

Nitekim, açıklık-koyuluk ifadesi olarak değerlendirilen L^* değerinin kurutma sonrasında azaldığı görülürken, kırmızılık düzeyi göstergesi olan a^* değerinin arttığı ve sarılık derecesi b^* değerinin de azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Taze ve kuru biberiyelerde renk değerleri değişimi

Renk Değerleri	L^*	a^*	b^*
Taze	41,76±4,42	-3,87±0,58	11,24±0,68
42 °C	9,48±1,880	10,22±2,030	6,88±1,410
45 °C	10,84±2,680	11,47±2,860	8,04±2,060
48 °C	10,67±2,640	11,29±2,650	7,75±2,630
Kuru Biberiye ortalama	10,33±0,741	10,99±0,676	7,56±0,604

KAYNAKLAR

- Akgül, A., 1989. Baharatların antioksidan özellikleri. Doğa-TR. J. of Agriculture and Forestry. 13: 11-24.
- Akpınar, E., Biçer, Y. 2003. Siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışının incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16 1, 159-169.
- Alonsa, M.S.P., Negueruela. A.V., Duru. M.E., Hormander, M., Estaban, S., 1995. Composition of the Essential Oil of *Ocimum bacilicum* var. *glabratum* and *Rosmarinus officinalis* L. from Turkey, J. Essential Oil (Rosemary) 7,73-75.
- Anonim, 1987. Ülkemizdeki Bazı Orman Tali Ürünlerinin Teşhis ve Tanıtım Kılavuzu. Tarım Orman ve Köyşleri Bak., 659, 8.
- Balkan, F., 1992. Kurutucularda geri döngülü hava kullanımının enerji tasarrufuna katkısı. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 15, 2, 13-19.
- Banyai, E.S., Tulok, M.H., Hgedüs, A., Renner, C., Vargai. S. 2003. Antioxidant effect of various rosemary (*Rosmarium officinalis* L.) clones. Acta Biologica Szegediensis. 47 1-4:111-113.
- Baydar, H., 2013. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi (Genişletilmiş 4. Baskı). Süleyman Demirel Üniversitesi 51 (ISBN: 975-7929-79-4).
- Bayhan, A.K., S. Boyar, M.F. Çağlar, R.C. Akdeniz and Ö. Kayaalp, 2011. "Design of The Experimental Dryer for Medical & Aromatic Plants" Hungarian Agricultural Engineering 23/2011, 5-8 Szent Istvan University, Faculty of Mechanical Engineering. HU ISBN: 0864-7410. Gödöllő, Hungary.
- Bayrak, A., Akgül, A. 1988. Biberiye (Rosemary) Bitkisinin Uçucu Yağ Kompozisyonu Üzerinde Araştırma. Gıda Sanayi 1998/5, 20-22.
- Baytop, T., 1984. Türkiye' de Bitkiler ile Tedavi İstanbul Üniv. 3255, Eczacılık Fak. Yay. 40 282-283
- Boyar, S., A. K. Bayhan and E. Dikmen, 2013. Investigation on Drying Behavior of Isparta Rose Flowers (*Rosa damascena* Mill.) Under Natural Shade Conditions. Bulg. J. Agric. Sci., 19 2: 361-374.
- Boyar, S., 2006. Türkiye Karma Yem Sanayinde Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi ve İyileştirilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma (İki Fabrika Örneğinde). E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı. İzmir.

- Boyle, T., Craker, L.E., Simon, J.E., 1991. Growing Medium and Fertilization Regime Influence Growth and Essential Oil Content of Rosemary. Hort Science 26 1, 33-34.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., 1987. Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 445,100, İstanbul.
- Bulduk, S. 2004. Gıda Teknolojisi, İkinci Baskı, Detay Yayıncılık, ANKARA, 35-38.
- Cemeroğlu, B. 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknoloji Dergisi Yayınları, 6, Ankara.
- Ceylan, A., 1987. Tıbbi Bitkiler II. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay. No. 481.
- Darıcı, S., Şen, S. 2012. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 130, 51-58.
- Dash, K.K., Gope, S., Sethi, A., Doloi., M., 2013. Study on Thin Layer Drying Characteristics Star Fruit Slices, International Journal of Agriculture and Food Science Technology. ISSN 2249-3050, 4, 7 2013, 679-686
- Esper, A., Mühlbauer, W. 1998. Solar drying- an effective means of food preservation. Renewable Energy, 15, 95-100.
- Evranuz, Ö. ve Çataltaş, İ. 1989. Gıda İşleme Mühendisliği. İnkilap Kitapevi, İstanbul.
- Frankel, E.N., Huang S., Aeschbach, R. and Prior, E., 1996. Antioxidant Activity of a Rosemary Extract and Its Constituents, Carnosic Acid, Carnosol, and Rosmarinic Acid, in Bulk Oil and Oil-in- Water Emulsion J. Agric. Food Chem.44, 131-135.
- Furnier, G., Habib, J., Ruguiguf, A., Safta, F., Guetari, S., 1989. Study of Different Samples of the Essential Oil of Tunisian Rosemary. Plants Medicinals at Phytotherapie. 23 , 3 180-185.
- Geankoplis, C.J., 1983. Transport process and unit operations. Allyn and Bacon, Inc., Boston, 508-657.
- Jain M., Banerji R., Nigam S.K., Scheffer J.J.C., Chaturvedi H.C., 1991. In Vitro Production of Essential Oil from Proliferating Shoots of Rosmarinus officinalis. Planta Medica, 57: 122-124.
- Kaya, A., Aydın, O. 2008. Kurutma havası sıcaklığının kuruma süresi ve sorpsiyon eğrisine etkisinin deneysel incelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 28 , 45-49.

- Kirici, S. ve Inan, M., 2002. Effect of Different Harvesting Time on the Essential Oil Content of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in the Çukurova Conditions. In Proceedings of the Workshop on Agricultural and Quality Aspects of Medicinal and Aromatic Plants (Ed. M. Özgüven) May 29- June01-2001 Adana
- Kirici, S., Çetin, Ş., 1997. Effect of Height of Cutting on Herba and Leaf Yield and Essential Oil Content of *Rosmarinus officinalis* L. Proceeding of the XI. World Forestry Congress 13-22 October 1997, Antalya. 3, T 15.
- Köse, B. 2008. Konvektif Ve UV-Konvektif Kurutucularda Ökseotu (*Viscum Album* L.) Bitkisinin Kuruma Davranışı Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniv. Müh. Fak. Kimya Müh. ABD. Erzurum.
- Müller, J., and Heindl, A., 2006. Chapter 17: Drying of medicinal plants. Medicinal and Aromatic Plants. 237-252. Springer, Netherland.
- Önenç, S.S ve Açıkgöz, Z., 2005. Aromatik Bitkilerin Hayvansal Ürünlerde Antioksidan Etkileri Hayvansal Üretim 46, 1 50-55.
- Özgüven, M., Kırıcı, S., Tansı, S., Aksungur, P., Yaman, A., 1995. Tıbbi Bitkiler Araştırma ve Geliştirme Projesi. Tübitak, Proje No: TOAG-990/DPT, Temmuz 1995.
- Özgüven, M., Kirpik, M., Koller, W.D., Kerschbaum, S., Range, P. and P. Schweiger, 2006. "Investigation of optimum drying parameters of various medicinal plants" Togtag-Julich 2001/1 ,41, Adana.
- Polatçı, H., 2008. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine Ve Kalitesine Etkisi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ABD. Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Ratti, C., 2001, Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review, Journal of Food Engineering, 49, 311-319.
- Richheimer, S.L., Bernart, M.W., King, G.A., Kent, M.C., Bailey, D.T. 1996. Antioxidant activity of lipid-soluble phenolic diterpenes from rosemary. J. AOCS. 73:507-514.
- Simon, J.E., A.F. Chadwick and L.E. Craker. 1984. Herbs: An Indexed Bibliography. 1971-1980. The Scientific Literature on Selected Herbs, and Aromatic and Medicinal Plants of the Temperate Zone. Archon Books, 770 p., Hamden, CT.
- Şahbaz F., K., 1994, Hava akış hızı ve sıcaklığın patatesin kuruma hızına etkisi. Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences,18:163-168.

- Türk, R., Erken, S., Yalçinkaya, E. Bazı önemli kızılıcık (*Cornus mas L.*) tiplerinin morfolojik ve fenolojik özellikleri. Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 8-12 Eylül 2003, 289-291.
- Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M. ve Barbosa- Canovas, G.V., 2001. Advances in dehydration of foods, *Journal of Food Engineering*, 49, 271-289.
- Wagner, H., Bladt, S., Zgainski, E.M., 1984. *Drug Analysis* Springer-Verlag
- Yağcıoğlu, A., 1996, Ürün işleme Tekniği, EÜZF Yayınları No:536, İzmir, 348

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hilmi ARIK

Doğum Yeri ve Yılı : Alanya, 1987

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : hilmiarik@sdu.edu.tr



Eğitim Durumu

Lise : Şükrü Kaptanoğlu Lisesi, 2004

Lisans : SDÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri

Mesleki Deneyim

AKA Bilişim Hosting İstanbul 2010 -2011

SDÜ Araştırma ve Uyg. Hastanesi Bilgi İşlem 2011-2013

SDÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı 2013-..... (halen)