

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

SEBZE VE MEYVE KURUTMA İŞLETMESİNDE KURUTMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ: BİR İŞLETME
UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RAHİMA SAPAYEVA

BALIKESİR, 2023

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

SEBZE VE MEYVE KURUTMA İŞLETMESİNDE KURUTMA
PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ: BİR İŞLETME
UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RAHİMA SAPAYEVA

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. ÖZLEM KUVAT

BALIKESİR, 2023

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İşletme Anabilim Dalı'nda 202012507010 numaralı Rahima SAPAYEVA hazırladığı Sebze ve meyve kurutma işletmesinde parametrelerin belirlenmesi: Bir işletme uygulaması konulu YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 07.07.2023 Tarihinde yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda tezin onayına OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile karar verilmiştir.

Üye (Başkan) (Danışman): Doç. Dr. Özlem KUVAT

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Nevzat ÇALIŞ

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Enes FİLİZ

İmza

.../.../...

Enstitü Onayı

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

....../....../2023

İmza:

Rahima SAPAYEVA

ÖNSÖZ

Araştırmalarımın baştan sona en kıymetli zamanından benim için her daim vakit ayırarak, her konuda bana engin bilgileri ve tecrübelerini esirgemedi aktaran, her konuda yön gösteren ve destekte bulunan en değerli kıymetli tez danışman hocam Doç. Dr. Özlem KUVAT' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim süresi boyunca değerli görüş ve bilgileri ile destekleyen, araştırma konusunda, deneysel çalışmalarında sağladığı tüm maddi ve manevi desteklerinden dolayı Behlül Alperen TAŞLIOĞLU' na çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere getirebilmek için fedakarlıklar yapan, hayatım boyunca bana her konuda maddi ve manevi tüm desteklerini benden esirgemeyen, her koşulda yanımda olduğunu hissettiren hayatımın anlamı canım annem Nasiba ARMATOVA' ya, eğitimi her zaman önemli olduğunu vurgulayan, hep birlikte bu günlerin hayalini kurduğumuz, kızı olmaktan gurur duyduğum, şimdi melek olup gitmiş olsa da her zaman kalbimde olan canım babam İslambek SAPAYEV' e ve her zaman bana destek olan canım kardeşlerime sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

BALIKESİR, 2023

RAHIMA SAPAYEVA

ÖZET

SEBZE VE MEYVE KURUTMA İŞLETMESİNDE KURUTMA PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ: BİR İŞLETME UYGULAMASI

SAPAYEVA, Rahima

Yüksek Lisans, İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem KUVAT

2023, 63 Sayfa

İnsanların temel ihtiyaçlarından biri olan gıdaların, sağlıklı ve uzun ömürlü olması önemlidir. En eski çağlardan bu zamana kadar sebze ve meyvelerin uzun ömürlü saklayabilmek için her ne kadar hijyenik ve homojen olmasa da ürünleri güneşte kurutma yöntemi ile kurutmuşlardır. Eski çağlarda daha çok güneşte kurutma yöntemi kullanılmış olsa da zamanla teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha fazla verimli, daha az maliyetli, hijyenik, homojen ve yüksek kaliteli kurutulmuş gıdaları üretebilmek için çeşitli kurutma yöntemler geliştirilmiştir.

Bu araştırma çalışmasında Balıkesir ilinin Sındırgı İlçesinde bulunan BALKURU sebze ve meyve kurutma işletmesinde jeotermal enerji ile çileklerin kurutulması esnasında oluşan nem oranı, renk, tat vb. gibi duyuşal değeerler gözlemlenmiş ve kurutulmuş çileklerin üretim parametreleri belirlenmiştir.

Parametreleri belirlenen çilek ürünlerine etki eden kontrol edilebilen faktörler ortaya konulmuştur. Bu faktörlerin maksimum, minimum ve orta değeerleri işletmeden alınan bilgilere göre belirlenmiş ve Yanıt Yüzey Yönteminin, Box-Behnken deney tasarımına göre deney çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gıda Kurutma, Jeotermal Enerji, Yanıt Yüzey Yöntemi, Box-Behnken Tasarımı

ABSTRACT

DETERMINATION OF DRYING PARAMETERS IN VEGETABLE AND FRUIT DRYING PLANT: A BUSINESS PRACTICE

SAPAYEVA, Rahima

Master Degree, Department of Business Administration

Adviser: Doç. Dr. Ozlem KUVAT

2023, 63 Pages

One of the fundamental needs of people is that food should be healthy and long-lasting. Since ancient times, vegetables and fruits have been dried in the sun, even though they are not hygienic and homogeneous. Although sun drying was used more in ancient times, various drying methods have been developed with the advancement of technology to produce more efficient, less costly, hygienic, homogeneous and high-quality dried foods.

In this research study, the humidity ratio, color, taste, etc. of strawberries dried with geothermal energy in the BALKURU vegetable and fruit drying plant located in Sındırgı District of Balıkesir province were observed and the quality parameters of the dried strawberries were determined.

Controllable factors affecting strawberry products, whose parameters are determined, have been revealed. The maximum, minimum and middle values of these factors were determined according to the information received from the enterprise and the experimental study was carried out according to the Box-Behnken experimental design of the Response Surface Method.

Keywords: Food Drying, Geothermal Energy, Response Surface Method, Box-Behnken Design

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırma Probleminin Tanımı.....	2
1.2. Araştırmanın Amacı	2
1.3. Araştırmanın Önemi	3
1.4. Araştırmanın Varsayımları	3
1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları	3
1.6. Tanımlar	3
2. İLGİLİ ALANYAZIN	5
2.1. Kuramsal Çerçeve	5
2.1.1. Jeotermal Enerji ve Kullanım Alanları	5
2.1.1.1. Dünya’da Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları	8
2.1.1.2. Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları	12
2.1.2. Kurutma Ve Kurutmanın Tarihçesi	16
2.1.3. Kurutma Yöntemleri	18
2.1.3.1. Doğal Kurutma Yöntemi	18
2.1.3.2. Yapay Kurutma Yöntemi	18
2.1.4. Kurutma Teknikleri	19

2.1.4.1. Güneşte Kurutma.....	19
2.1.4.2. Dondurularak (Liyofilizasyon) Kurutma	19
2.1.4.3. Mikrodalga İle Kurutma.....	20
2.1.4.4. Patlatmalı Puf Kurutma	21
2.1.4.5. Jeotermal Enerji İle Kurutma	22
2.2. İlgili Araştırmalar	24
3. YÖNTEM.....	27
3.1. Araştırmanın Modeli	27
3.2. Evren ve Örneklem.....	29
3.3. Veri Toplama Araçları ve Teknikleri	30
3.4. Verilerin Toplanma Süreci	31
3.5. Verilerin Analizi.....	34
4. BULGULAR VE YORUMLAR	35
4.1. İşletmeye Ait Bilgiler	35
4.2. Deneylerin Planlanması Ve Gerçekleştirilmesi.....	36
4.3. Sonuçların Analiz Edilmesi.....	38
4.3.1. Nem Değerinin Analiz Edilmesi.....	39
4.3.2. Duyusal Puan Değerinin Analiz Edilmesi	45
4.3.3. Çok Yanıtlı Optimizasyon	51
4.3.4. Doğrulama Deneyleri.....	53
5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
5.1. Sonuçlar.....	56
5.2. Öneriler.....	57
KAYNAKÇA	58
EK	62
EK-1. Model Oluşturulması	62

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge-1.</u> Jeotermal Enerjinin Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları: Lindal Diyagramı.....	6
<u>Çizelge-2.</u> Dünya Jeotermal Enerji Uygulamalarındaki Lider İlk 5 Ülke	10
<u>Çizelge-3.</u> Dünya'daki En Büyük 5 Jeotermal Santrali	10
<u>Çizelge-4.</u> Ülkelere Göre Jeotermal Enerjinin Kurulu Gücü	11
<u>Çizelge-5.</u> Merkezi Isıtma Kullanım Kapasite Durumu	13
<u>Çizelge-6.</u> Jeotermal Kaynaklarının 2002 – 2019 Yılları Arasındaki Kullanımların Karşılaştırılması	14
<u>Çizelge-7.</u> Üç Faktör İçin Box-BehnkenTasarımı	32
<u>Çizelge-8.</u> Kontrol Edilebilen Faktörler Ve Değerleri	36
<u>Çizelge-9.</u> Box-Behnken Tasarımı İle Oluşturulan Deneme Düzenine Göre Faktör Düzeyleri.....	37
<u>Çizelge-10.</u> Deney Sonuçları	38
<u>Çizelge-11.</u> Nem Karakteristiği İçin 1.Varyans Analizi	39
<u>Çizelge-12.</u> Nem Karakteristiği İçin 2.Varyans Analizi	40
<u>Çizelge-13.</u> Tablo R ² Model Özeti.....	42
<u>Çizelge-14.</u> Tablo Katsayılar	42
<u>Çizelge-15.</u> Duyusal Puan Karakteristiği İçin 1.Varyans Analizi	46
<u>Çizelge-16.</u> Duyusal Puan Karakteristiği İçin 2.Varyans Analizi	47
<u>Çizelge-17.</u> Tablo R ² Model Özeti.....	48
<u>Çizelge-18.</u> Tablo Katsayılar	48
<u>Çizelge-19.</u> Çok Yanıtlı Optimizasyon.....	51
<u>Çizelge-20.</u> Çözüm.....	52
<u>Çizelge-21.</u> Çok Yanıtlı Tahminleme	53
<u>Çizelge-22.</u> Sonuçların Karşılaştırılması	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil-1.</u> Prens Piero Ginori Conti ilk jeotermal buhardan elektrik enerji üretimi denemesi,1904.....	8
<u>Sekil-2.</u> Dünya’da Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımı.....	9
<u>Sekil-3.</u> Türkiye Jeotermal Kaynak Sahaları ve Sıcaklık Dağılımı	15
<u>Sekil-4.</u> Türkiye’de Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanımı	15
<u>Sekil-5.</u> Kurutma İşleminde Ortaya Çıkan Isı Ve Kütle Transferinin Şematik Gösterilmesi	16
<u>Sekil-6.</u> Mikrodalga Kurutma Tekniğinin Avantajları Ve Dezavantajları.....	21
<u>Sekil-7.</u> Sürecin Genel Modeli.....	27
<u>Sekil-8.</u> Box-Behnken Tasarımının Sınırları	32
<u>Sekil-9.</u> Box-Behnken Deney Tasarımının Dört Temel Aşaması.....	34
<u>Sekil-10.</u> Nem Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 1.Pareto Grafiği	40
<u>Sekil-11.</u> Nem Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 2.Pareto Grafiği	41
<u>Sekil-12.</u> Nem Modeli Hata Grafiği.....	43
<u>Sekil-13.</u> Nem Değeri İçin Fırın Derecesi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği	44
<u>Sekil-14.</u> Nem Değeri İçin Pişirme Süresi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği.....	44
<u>Sekil-15.</u> Nem Değeri İçin Pişirme Süresi Ve Fırın Derecesi Kontur Grafiği.....	45
<u>Sekil-16.</u> Duyusal Puan Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 1.Pareto Grafiği ..	46
<u>Sekil-17.</u> Duyusal Puan Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 2.Pareto Grafiği ..	47
<u>Sekil-18.</u> Duyusal Puan Modeli Hata Grafiği	49
<u>Sekil-19.</u> Duyusal Puan Değeri İçin Pişme Süresi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği	50
<u>Sekil-20.</u> Duyusal Puan Değeri İçin Pişme Süresi Ve Fırın Derecesi Kontur Grafiği	50
<u>Sekil-21.</u> Duyusal Puan Değeri İçin Fırın Derecesi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği	51
<u>Sekil-22.</u> Optimizasyon grafiği	52

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
D₂O	:Ağır Su
DF	:Serbestlik Derecesi
EA	:Enerji Atlası
GA	:Güven Aralığı
H₂S	:Hidrojen Sülfid Prosesi
KO	:Kareler Ortalaması
KT	:Kareler Toplamı
Mm	:Millimetre
MTA	:Maden Teknik ve Arama
MW	:Megawatt
MWE	:Megawatt Elektrik
SH	:Standart Hata
TJD	:Türkiye Jeotermal Derneği

1. GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin uzun süreli saklanması amacıyla kurutulması eski çağlardan beri kullanılan yöntemdir. Kurutma işlemi ürünün içerisindeki su miktarını minimuma indirerek ürünün uzun süreli saklanmasını sağlamaktadır.

Gıda sektöründe kurutma yöntemi ürünlerin uzun müddet muhafaza edebilmek için ilk başlarda güneşte kurutma yöntemi ile başlanmıştır. Güneşte kurutmanın maliyetinin düşük olması avantaj olsa da geniş bir alan gerektirmesi, hava koşulların olumsuz yansması, ürünlerin toz, toprak, böcek vb. gibi birçok unsurdan etkilenmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Bu nedenlerle yapılan araştırmalar sonucunda birçok yapay kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Yapay kurutma yöntemi ile birlikte günümüzde endüstriyel gıda sektöründe kurutma işlemi hijyenik, homojen ve daha hızlı kurutma gibi avantajlara sahiptir. Buna karşın bu yöntemlerin yüksek enerji tüketimi vb. dezavantajı bulunmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve bilinen kurutma teknikleri mikrodalga ile kurutma, patlatmalı puf kurutma, dondurularak kurutma ve jeotermal enerji ile kurutma şeklindedir.

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji kaynağı, meyve ve sebzelerin kurutulması için yaygın olarak kullanılması ülke ekonomisi açısından baktığımızda pahalı fosil yakıtlar açısından dışa bağımlılığı azaltmakta, çevre kirliliğini korumakta ve bu alanda yatırımların artması yeni istihdam sunmaktadır. Ayrıca kurutma işleminde mevsimsel hava değişimlerine maruz kalmadan dört mevsimde de kurutma yapılabilmektedir.

Günümüzde birçok gıda kurutma tekniği bulunmaktadır. Fakat rekabetinin artması ile birlikte işletmeler düşük maliyet ile yüksek kaliteli ürünler üretmeyi hedeflemektedirler. Bu hedeflere ulaşabilmek için üretimlerin en uygun parametre değerleriyle yapılması gerekmektedir. Bunun için yaygın olarak bilinen deney tasarımı yöntemi kullanılarak ürünlerin üretim süreci ile ilgili bilgiler toplanmakta ve ürün

kalitesini etkileyen faktörler belirlenerek, ürünün kalitesini iyileştirilmesi için bu faktörlerin hangi seviyede olması gerektiği araştırılmaktadır. Bu çalışmada da jeotermal enerji ile kurutmada en uygun üretim parametre değerleri yanıt yüzeyi yöntemi ile belirlenmiştir.

Araştırmanın birinci kısmında çalışma probleminin tanımı, araştırmanın amacı, önemi, metodolojisi, çalışmanın sınırlılıkları ve araştırmanın tanımlarına yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise jeotermal enerji kaynakları ve kullanım alanları, kurutma, kurutma yöntemleri ve tekniklerinden bahsedilmiştir. Üçüncü kısımda araştırmanın yöntemi deney tasarımı, dördüncü kısmında ise bulgular ve yorumlardan söz edilmiştir. Araştırmanın son bölümünde yapılan analizler ve sonuçlar, ayrıca sonuçlara göre yapılan öneriler bulunmaktadır.

1.1. Araştırma Probleminin Tanımı

Bu araştırmanın problemi “Sebze ve Meyve Kurutma İşletmesinde Parametrelerin Belirlenmesi: Bir İşletme Uygulaması” olarak tanımlanmaktadır. Meyve ve sebzelerin kurutulduğu BALKURU işletmesinde 2022 yılında çilek ürünü üzerinde deneyler yapılarak Box- Behnken Tasarımı yöntemi ile analiz yapılmış ve üretim parametreleri belirlenmiştir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı Jeotermal enerji ile çileklerin kaliteli kurutulması için Yanıt Yüzey yöntemlerinden biri olan Box-Behnken deney tasarımı tekniği kullanılarak parametrelerin belirlenmesidir. İşletme açısından önemli olan zaman tasarrufu ve kaynakların daha verimli kullanılması, ürünün nem oranının istenilen orana getirilmesi ve duyu özelliklerinin iyileştirilmesi için kalitesini etkileyen kontrol edilebilen faktörler ile kontrol edilemeyen faktörlerin belirlenmesi, daha sonra bu faktörler üzerinde deneylerin yapılması amaçlanmıştır.

1.3. Araştırmanın Önemi

Günümüzde sebze ve meyve kurutma teknikleri giderek çeşitlilik göstermektedir. Ancak ürünlerin uzun süre saklanabilmesi için, fosil yakıtları kullanılarak kurutma gerçekleştiğinde maliyetler yüksek olmaktadır. Bu nedenle maliyetlerin düşürülebilmesi için işletmeler ürünlere çeşitli katkı maddeler kullanmaktadır.

Bu araştırmaya konu olan jeotermal enerji kurutma tekniği ile kurutulan ürünlerin düşük maliyetle ve katkı maddeler kullanılmadan duyuşal özelliklerini geliştirip nem oranını düşürerek üretim parametrelerini belirlemektedir. Parametrelerin belirlenmesi işletme açısından kapasitenin tam ve verimli kullanılması, kısa süre de istenilen nem oranlarına getirerek kaliteli üretilebilmesi için önemlidir.

Bu çalışmanın ileride yapılacak jeotermal enerji ve kurutma teknikleri gibi konularda yapılacak çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

1.4. Araştırmanın Varsayımları

Araştırma amacına uygun olarak işletmeden alınan veriler doğrultusunda, ilgili alan yazın teorik bilgilerinden faydalanılarak deneylerin yapılması sonucunda ortaya çıkan sonuçların güvenilir ve geçerli olduğu varsayılmıştır.

1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu araştırma 2022 yılının Eylül ve Aralık ayları arasında Balıkesir İlinin Sındırgı ilçesinde bulunan BALKURU işletmesinde çilek meyvesi için yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ile sınırlıdır.

1.6. Tanımlar

Kurutma: Sebze ve meyveler gibi hızlı bozulan temel gıdaların, besin değerini kaybetmeden uzun süreli saklanması amacıyla ortaya çıkan en eski yöntemlerden biri olup, ürünün çeşitlerine göre içerisinde bulunan sıvı oranının uygun dereceye getirilmesi olarak ifade edilmektedir (Gökayaz, 2019).

Jeotermal Enerji: Yeraltı rezervuarlardan sürekli beslenmekte olduğundan dolayı yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji kaynağı yeraltının çeşitli derinliklerinde oluştuğundan dolayı suyun ısı derecesi değişmektedir bu yüzden suyun ısı derecesine bağlı olarak doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır (Özgören, vd, 2012).

Deney Tasarımı: Araştırma sorusunu tanımlama, bir hipotez geliştirme, uygun deneysel yöntem ve prosedürleri seçme, verileri toplama, analiz etme ve sonuçları yorumlama gibi birkaç adımı içerir. İyi deney tasarımı, yüksek kaliteli araştırma yürütmek ve verilerden doğru ve anlamlı sonuçlar çıkarmak için gereklidir (Sarı, 2005, s. 3).

Yanıt Yüzey Yöntemi: deneysel çalışmalarda parametrelerin etkin olanlarını seçme, etkin olmayan parametreyi çıkarma ve eş zamanda değiştirebilme, az deney çalışması ile en yüksek miktarda veriye ulaşma gibi avantajı bulunmaktadır. Bir deney çalışmasında araştırılan aralıktaki en yüksek değerdeki noktayı bulabilmek ve etkin parametrenin belirlenmesi için yanıt yüzey yöntemi kullanılmaktadır (Elbaş, 2018, s. 33).

2. İLGİLİ ALANYAZIN

2.1. Kuramsal Çerçeve

Araştırmanın bu kısmında jeotermal enerji kaynakları ve kurutma ile ilgili literatür taraması yapılmış ve alan yazın kısmı oluşturulmuştur.

2.1.1. Jeotermal Enerji ve Kullanım Alanları

Jeotermal – yer ısısı olup, yer kabuğunun her türlü derinliklerinde oluşan ısının, normal yer altı ve yer üstü ısısının atmosferik sıcaklığının üzerinde olan ve yüksek derecede çözünmüş çeşitli kimyasal (tuzlar, mineral sular, gazlar içeren sıcak sular) maddeler içeren sıcak su olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji ise bu kaynakların yer yüzeyine taşınan ısıdır (Arslan, Darıcı ve Karahan, 2001).

Jeotermal enerji, yeraltı rezervuarlardan sürekli beslenmekte olduğundan dolayı yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynağıdır. Ayrıca diğer enerji kaynakları ve santrallere göre birim maliyeti ucuz, güvenilebilir ve sürdürülebilir enerji türüdür. Jeotermal enerji kaynağı yeraltının çeşitli derinliklerinde olduğundan dolayı suyun ısı derecesi değişmektedir bu yüzden suyun ısı derecesine bağlı olarak doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır (Özgören, vd, 2012). Jeotermal enerjinin en yaygın şekilde kullanılan alanları: elektrik üretimi, sağlıkta tedavi amaçlı, konut ısıtmasında, sebze ve meyvelerin kurutmasında hem sterilizasyonda, seracılıkta bitki yetiştirmek üzere, balık yetiştirmesinde, hayvancılıkta çiftliklerin ısınması, havaalanı pistlerinin ısıtılması, sanayi de kerestecilik ve ağaç kaplamada, turizm bölgelerinde termal havuzlar ve kaplıcalar vb. gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır (Tamyerli, 2007).

Jeotermal enerji kaynağının ülkelere göre sınıflandırılması farklı olmasına rağmen suyun sıcaklığına göre yüksek sıcaklık (150°C 'den yüksek), orta sıcaklık ($70^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$), düşük sıcaklık ($20^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Yüksek sıcaklıklı sahalarda başta elektrik enerji üretimi olmakla birlikte sanayi de kereste kurutması, kimyasal madde üretimi (Hidrojen sülfid prosesi (H_2S) ile ağır su

(D₂O) eldesi) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Orta sıcaklıklı sahalarda ise endüstride sebze ve meyve kurutması, konservecilik, çiftlik malzemelerinin hızlı kurutulması, yün yıkama ve kurutma, tuğla, kiremit ve çimento kurutma, konut ve sera ısıtması gibi alanlarda kullanılmakta iken, düşük sıcaklıklı sahalarda ise toprak ısıtma, havaalanı pistlerinin ısıtması, ahır, kümeslerin ısıtması, mantar üretiminde, balık yetiştiriciliğinde, termal havuzlarda, sağlık sektöründe ise tedavi amaçlı kullanılmaktadır (Tamyerli, 2007).

İzlandalı kimya mühendisi Baldur Lindal jeotermal enerjinin endüstride kullanımı açısından detaylı incelemeler yapmış ve enerjinin doğrudan ve dolaylı yollardan kullanımına yönelik yaptığı çalışmalar sonucunda kendi adını verdiği bir diyagram oluşturmuştur (Durmuş, Karaköse ve Dağlı, 2019). Jeotermal enerjinin sıcaklık derecesine göre uygulanan alanları Lindal Diyagramı ile çizelge 1’de gösterilmektedir.

Çizelge-1. Jeotermal Enerjinin Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları: Lindal Diyagramı

Sıcaklık Derecesi	Kullanım Alanları
180 ⁰	Elektrik Enerjisi Üretimi, Yüksek Konsantrasyonlu Solüsyonların Buharlaştırılması
170 ⁰	Hidrojen Sülfid Prosesi (H ₂ S) İle Ağır Su(D ₂ O) Eldesi
160 ⁰	Balık Kurutulması, Kereste Kurutulması
150 ⁰	Bayer’s Yöntemi İle Alüminyum Eldesi
140 ⁰	Konservecilik, Çiftlik Malzemelerinin Hızlı Kurutulması
130 ⁰	Tuz Prosesi, Şeker Sanayi
120 ⁰	Temiz Su Eldesi, Tuzluluk Oranının Artırılması
110 ⁰	Tuğla, Çimento Ve Kiremit Kurutma
100 ⁰	Yük Yıkama Ve Kurutma, Sebze Ve Meyve Kurutma

Çizelge 1-devamı

90 ⁰	Stok Balık Kurutma
80 ⁰	Konut Isıtması, Sera Isıtması
70 ⁰	Lityum Bromür Metodu İle Soğutma (Alt Limit Sıcaklığı)
60 ⁰	Ahır Ve Kümes Isıtması
50 ⁰	Balneolojik Hamamlar, Mantar Yetiştirilmesi
40 ⁰	Toprak Isıtma
30 ⁰	Buz Eritme, Termal Havuzlar, Tedavi Amaçlı Banyolar
20 ⁰	Balık Üreticiliği

Kaynak: Durmuş, A., Karaköse , E., ve Dağlı, A. (2019). Türkiye'nin Jeotermal Enerjide Mevcut Durumu ve Potansiyeli. *3 rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 4 (1), 482-485.

Jeotermal enerji kullanımı açısından birçok ülkede yerli enerji üretimi arttırarak ülkenin enerji ihtiyaçlarını, doğal gaz, kömür yerine de ısınma ihtiyaçlarını karşılamakta ve aynı zamanda enerji tüketiminde dışa bağımlılığını azaltarak doğrudan veya dolaylı olarak ülkeye enerji ve döviz tasarrufu sağlamaktadırlar.

Andritsos, Dalampakis ve Kolios (2003) araştırması sonucunda, Yunanistan'ın Ege adalarında özellikle adaların kıyılarında orta ve düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların bulunduğunu ve bu kaynakları değerlendirmek için yaptığı çalışmasında Santorini adasında uzun yıllardır yetiştirilen kiraz domateslerin jeotermal enerji kaynakları ile kurutulabileceğini, diğer adalarda da yetiştirilen kayısı, incir, kuru erik gibi meyvelerin, biber, maydanoz, sarımsak, kuşkonmaz, domates ve yonca gibi sebzelerin de kurutulabileceğini belirtmiştir.

Lund, Freeston ve Boyd (2005) çalışmasında 2000 senesinde on beş ülkenin çeşitli sebze ve meyvelerin kurutulmasında jeotermal enerji kaynaklarının kullanıldığını belirtmiştir. Örneğin, ABD'de soğan, Yeni Zelanda yonca, İzlanda da deniz yosunu, Sırbistan da buğday ve diğer tahıl ürünleri, Meksika ve Guatemala da meyve çeşitlerinin kurutulduğunu bildirmiştir.

Başak, Madakbaş ve Gürkan (2014) çalışmasında Türkiye'nin Kırşehir Karakurt beldesinde bulunan ilk jeotermal kurutma tesisinde yaptığı araştırmalar sonucunda jeotermal enerji kaynağını kullanarak çeşitli sebze ve meyvelerin kurutulduğunu belirtmiştir. Örneğin: Kavun, karpuz, domates, biber, salatalık, patlıcan, muz, hurma, ayva, armut, elma, kivi, şeftali vb. ürünler kurutulmaktadır.

2.1.1.1. Dünya'da Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Dünya'da jeotermal enerji kaynakları eski çağlarda tedavi amaçlı kullanılmasıyla bilinmektedir (Şahin, 2016, s. 21). Jeotermal kaynağını ilk olarak 1827 yılında İtalya Larderolla'daki bir fabrikada borik asit üretiminde kullanılmıştır. 1892 yılında ABD'de ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi kullanılmaya başlanmıştır. 1904 yılında İtalya'da Prens Piero Ginori Conti tarafından jeotermal kaynakları üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda kuru sıcak buhar ile elektrik enerji üretimi denemesi başarılı sonuçlanmış ve ilk elektrik enerji üretimi İtalya, Larderolla olarak kayıtlara geçmiştir (Alper, 2019, s. 61).

Aşağıda şekil 1'de Prens Piero Ginori Conti ilk jeotermal buhardan elektrik enerji üretimi denemesinde kullanılan motor, ilk jeotermal güç santrali gösterilmektedir.



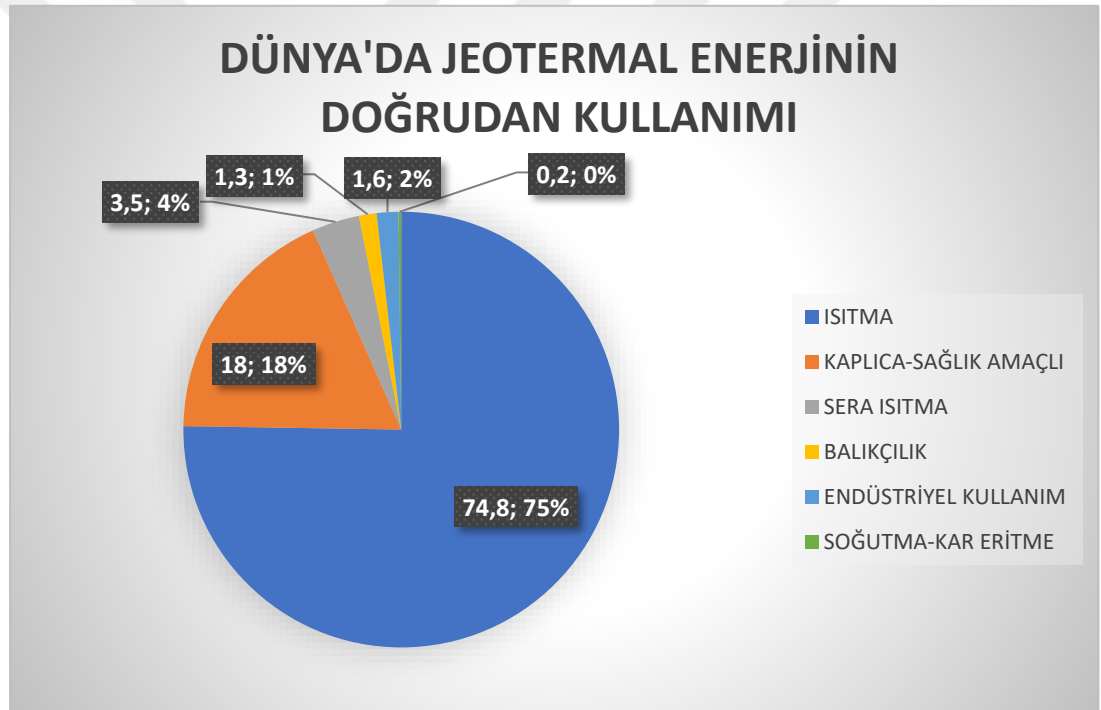
Şekil 1. Prens Piero Ginori Conti ilk jeotermal buhardan elektrik enerji üretimi denemesi, 1904

Larderello, İtalya.

Kaynak: Alper, E. C. (2019). *Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve ekonomik analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

2000’li yıllara kadar jeotermal kaynaklarla sağlıkta tedavi amaçlı ve elektrik enerji üretimi için kullanılan kaynaklar, daha sonra gelişen teknoloji ile birlikte birçok alanlarda günümüzde kullanım alanları artmıştır. Jeotermal kaynaklar ısı derecelerine göre doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Rusya, Japonya, Türkiye, Macaristan gibi ülkelerde jeotermal kaynağın ısı derecesi 40⁰C dereceden yüksek olan yerlerde merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır. İtalya, Türkiye, Yeni Zelanda, ABD, Macaristan, Japonya ülkelerde sıcaklık derecesi 30⁰C’den yüksek olan yerlerde sera ısıtmasında kullanılmakta iken Rusya, Japonya, ABD gibi ülkelerde kümes ve çiftliklerin ısıtılmasında jeotermal enerji kaynağından faydalanılmaktadır (Tamyerli, 2007, s. 13).

Şekil 2’de Dünya’da jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2. Dünya’da Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımı

Kaynak: (http-1).

Şekil 2’de gösterildiği gibi jeotermal kaynakları doğrudan kullanımı teknolojinin gelişmesiyle birlikte yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Özellikle kentin ısınması %75, sağlık amaçlı ve kaplıcaların ısınması %18, endüstride kerestelerin kurutulması, yiyeceklerin kurutulması, seraların ısınması, derilerin işlenmesi ve kurutulması, yollarda kar eritme gibi birçok alanda kullanıldığı görülmektedir.

Dünyada jeotermal enerji kaynakları kullanım açısından yaygınlaşmaktadır. Diğer taraftan üretimi açısından birçok ülke lider konumdadır. Örneğin, dünyada jeotermal kaynaklarından enerji elektrik üretimindeki ilk 5 lider ülkeler: ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Kenya iken, ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 lider ülke: Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya'dır (http-1).

Aşağıda çizelge 2'de dünyada jeotermal enerji elektrik üretimini, ısı ve kaplıca uygulamalarındaki lider ilk 5 ülkeler gösterilmektedir.

Çizelge 2. Dünya Jeotermal Enerji Uygulamalarındaki Lider İlk 5 Ülke

Dünyada Jeotermal Enerji Elektrik Üretimindeki Lider İlk 5 Ülke	Dünyada Jeotermal Isı ve Kaplıca Uygulamalarındaki Lider İlk 5 Ülke
ABD	Çin
Endonezya	ABD
Filipinler	İsveç
Türkiye	Türkiye
Kenya	Japonya

Kaynak: (http-1).

Jeotermal kaynakları üreten ülkelerde santraller bulunmaktadır. Dünya da en büyük jeotermal santraller: The Geysers, Larderello, Cerro Prieto, Makban ve Cal Energy Generation's Salton Sea. Santrallerin kurulu gücü ülkelere göre listesi aşağıdaki çizelge 3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Dünya'daki En Büyük 5 Jeotermal Santrali

Ülke	Jeotermal Tesisin Adı	Kurulu Gücü (Mw)
Abd – Kaliforniya	The Geysers	1.517
İtalya – Toscana	Larderello	769
Meksiko	Cerro Prieto	720
Filipinler	Makban	458
ABD – Kaliforniya	Cal Energy Generation's Salton Sea	340

Kaynak: Alper, E. C. (2019). *Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve ekonomik analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

Jeotermal enerji yenilenebilir ve çevreci bir enerji kaynağıdır. Bu sürdürülebilir enerji kaynağı genellikle fay hareketliliğinin olduğu bölgelerde yer almaktadır. Fosil yakıtlar gibi çevreye zararlı olmaması sebebi ile son yıllarda kullanımı arttırılmıştır ve giderek yaygınlaştırılmak istenmektedir. Aşağıdaki çizelge 4'e göre Amerika Birleşik Devletleri jeotermal enerji kurulu gücü en yüksek ülkedir. Türkiye ise bu jeotermal enerji kurulu gücüne göre 4.sırada yer almaktadır.

Çizelge 4. Ükelere Göre Jeotermal Enerjinin Kurulu Gücü

Ülke	Kurulu Gücü Payı (%)	Kurulu Gücü (MW)	Sıra
ABD	24,17	3.714	1
Endonezya	13,88	2.133	2
Filipinler	12,48	1.918	3
Türkiye	10,57	1.624	4
Yeni Zellanda	6,54	1.005	5
Meksika	6,26	963	6
İtalya	6,14	944	7
Kenya	5,60	861	8
İzlanda	4,91	755	9
Japonya	3,92	603	10
El Salvador	1,33	205	11
Kosta Rika	1,32	204	12
Nikaragua	0,70	109	13
Rusya	0,63	97	14
Papua Yeni Gine	0,36	56	15

Çizelge 4 – devamı

Guatemala	0,27	42	16
Almanya	0,24	38	17
Portekiz	0,18	29	18
Çin	0,17	27	19
Şili	0,15	24	20
Etiyopya	0,05	8	21
Avusturya	0,000006	1	22
TOPLAM		15.360	

Kaynak: (http-2).

2.1.1.2. Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Türkiye’de Jeotermal enerji kaynağı araştırma çalışmaları ilk olarak Maden Tetkik Arama (MTA) Müdürü Doç. Dr. Sadrettin Alpan tarafından 1960 yılında araştırmalara başlatılmış ve 1963 yılında ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmir Balçova’da açılmıştır. Jeotermal kaynakların araştırmaları devamında 1968 yılında Denizli Kızıldere’de 540 m derinlikte 198⁰C de yüksek sıcaklıklı rezervuar bulunmuş ve böylece Türkiye’de ilk jeotermal elektrik üretimi amaçlı deneme santrali 1974 yılında tesis kurulmuştur. 232⁰C ile en yüksek sıcaklıklı jeotermal sahası Aydın Germencik’te 1982 yılında keşfedilmiştir (Şimşek, 2015).

Türkiye’de jeotermal kaynakların araştırmaları sırasında bir taraftan da MTA tarafından yasa tasarımları oluşturulmaya başlanmıştır. 1982 yılında jeotermal düzenleme kanununda ilk kez yerini almıştır. 1987 yılında ilk jeotermal enerji ısısı ile merkezi ısıtma sistemi Balıkesir Gönen’de kullanılmaya başlanmıştır (Karagüç, 2013; Şimşek, 2015). 1990 yılları sonrası jeotermal enerji ısısı ile merkezi ısıtma sistemi üzerine yoğun çalışmalar başlayarak Afyon, Kırşehir, İzmir il merkezleri ile Gönen, Simav, Kozaklı, Sandıklı, Bigadiç, Bergama ve Sındırgı’da merkezi ısıtma sistemi kullanılmaya başlanmıştır. 2022 yılında merkezi ısıtma kullanım kapasitesi aşağıdaki çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Merkezi Isıtma Kullanım Kapasite Durumu

Yer	Yıl	Jeotermal Isı İle Isıtılan Konut Sayısı	Jeotermal Su Sıcaklığı (°C)
Balçova	1983	38.000	140
Gönen	1987	3.400	80
Simav	1991	14.500	125
Kırşehir	1994	1.900	57
Kızılcahamam	1995	2.500	70
Afyon	1996	30.000	95
Kozaklı	1996	3.000	90
Sandıklı	1998	11.000	75
Edremit	2003	5.500	60
Bigadiç	2005	1.500	96
Bergama	2009	450	70
Sındırgı	2014	3.000	98

Kaynak: (http-3).

1990 yılı ile 2004 yılları arasında ülkemizde jeotermal kaynakları ile ilgili çalışmalar oldukça yavaş ilerlemiştir. Arama çalışmalarının hızlanması açısından Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından teşvik destek paketler oluşturulmuş, özel sektörlerinde çalışmalara katılması için ihale yolu ile yatırımcıya devredilmiştir. 2008 yılından bu zamana kadar MTA tarafından özel sektöre 101 adet jeotermal kaynak sahaları ihale yoluyla yatırımcılara devredilmesi sonucunda ülkemize hem ekonomi açısından hem istihdam açısından önemli katkılar sağlamıştır. Türkiye’de jeotermal kaynakların 2002 – 2019 yılları arasında yapılan çalışmaların kaynakların kullanım açısından karşılaştırılması çizelge 6’da gösterilmiştir (http-4).

Çizelge 6. Jeotermal Kaynaklarının 2002 – 2019 Yılları Arasındaki Kullanımların Karşılaştırılması

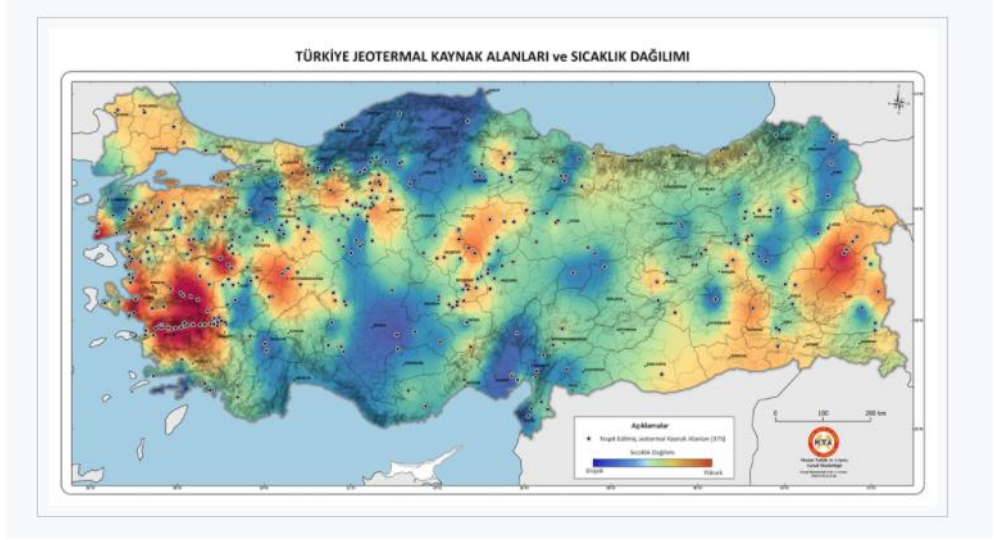
Açıklama	2002 Yıl	2019 Yıl
Elektrik Üretim Sahası	16	25
Sera Isıtması	500	4052
Konut Isıtması	30000	125000
Elektrik Üretiminde Kurulu Güç	15 MWE	1304 MWE
Ülke Görünür Isı Kapasitesi	3000 MWE	35500 MWE

Kaynak: (http-4).

Jeotermal enerji kaynaklarının 2002 yılından sonra devletin verdiği teşviklerden sonra hem üretim saha çalışması hem kullanım açısından hızlı artışlar göstermiştir. Ayrıca arama çalışmalarına özel sektörün de dahil olması ile birlikte çalışmalarda hızlı gelişmeler oluşmaya başlayarak şu anda Türkiye jeotermal enerji elektrik üretim kapasitesi açısından dünyadaki ilk 5 ülke: ABD, Filipin, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda arasında yer almayı başarmıştır (http-4).

Ülkemizde geçmiş yıllardan bugüne kadar MTA'nın ve özel sektörün birlikte yaptıkları çalışmalar sonucunda jeotermal enerji kaynağı sahası 634 adet, 412.250 metre sondajlı arama çalışması ile 5.000 MWt ısı enerjisine ulaşılmıştır (http-4).

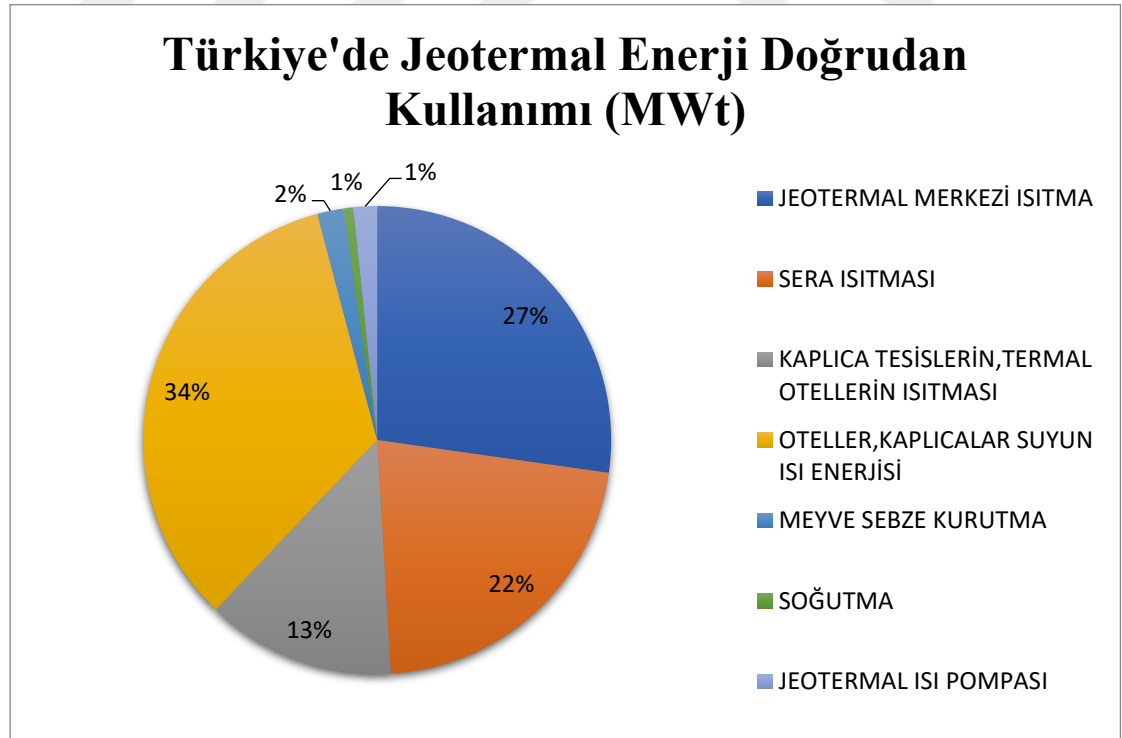
Ülkemiz Jeotermal kaynakların üretim ve kullanım açısından yüksek konuma sahiptir. Kaynakların çoğu ülkemizin Batı Anadolu bölgesinde, İç Anadolu bölgesinde %9, Marmaris bölgesinde %7, Doğu Anadolu bölgesinde ise %5'i yer almaktadır. Aşağıda gösterilen şekil 3'de Türkiye'nin jeotermal kaynak sahaları ve sıcaklık derecelerine göre dağılımı gösterilmektedir (http-5).



Şekil 3. Türkiye Jeotermal Kaynak Sahaları ve Sıcaklık Dağılımı

Kaynak: (http-5).

Türkiye’de jeotermal enerji kaynakları; Enerji üretimi, konut ve sera ısıtması, termal otellerin kaplıca tesislerin ısınması ve termal suyun ısı enerjisi, meyve ve sebze kurutması, soğutması gibi birçok alanlarda yaygın olarak kullanım kapasitesi vardır. 2022 itibari ile mevcut kullanım kapasitesi şekil 4’de gösterilmiştir.



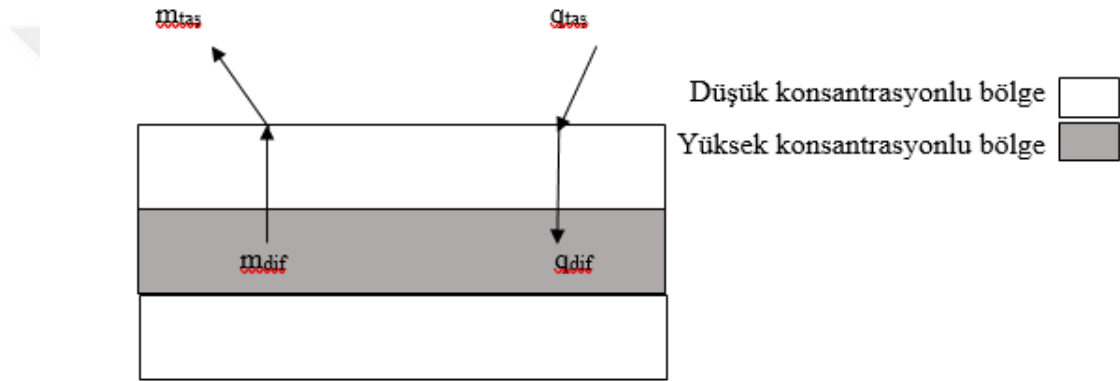
Şekil 4. Türkiye’de Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanımı

Kaynak: (http-1).

2.1.2. Kurutma Ve Kurutmanın Tarihçesi

Kurutma, sebze ve meyveler gibi hızlı bozulan temel gıdaların, besin değerini kaybetmeden uzun süreli saklamak amacıyla ortaya çıkan en eski yöntemlerden biri olup, ürünün içerisinde bulunan sıvı oranını ürünün çeşitlerine göre belirlenerek sıvı oranını uygun dereceye getirilmesi olarak ifade edilmektedir (Gökayaz, 2019).

Kurutma işlemi aslında ısı ve kütle transferin aynı anda gerçekleşme sürecidir. “Kurutma işleminde meydana gelen ısı ve kütle transferi şekil 1’de gösterilmektedir. Kurutulacak ürünün içeriğindeki sıvıyı önce buharlaştırmak daha sonra buharı ısı transferi ile üründen uzaklaştırmaktır (Olgun, 1989).”



Şekil 5. Kurutma İşleminde Ortaya Çıkan Isı Ve Kütle Transferinin Şematik Gösterilmesi

Kaynak: Kaya, A. (2008). *Kurutmada ısı ve kütle transferinin teorik ve deneysel olarak incelemesi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi.

Şekil 5’de m_{tas} , ürünün yüzeyindeki sıvıyı kurutma havasına konveksiyonla nem transferini gerçekleştirirken, m_{dif} ürünün içeriğindeki sıvının yüzeyine difüzyonla nem transferini gerçekleştirmektedir. Isı transferi ise nem transferinin tam tersi işlemi yapmaktadır. q_{tas} kurutma havasından kurutulan ürünün yüzeyine taşınım ile ısı transferi işlemi gerçekleşirken, q_{dif} ürünün içeriğine difüzyonla ısı transferi gerçekleşir (Kaya, 2008).

Gıda ürününü kurutma esnasında ısı ve kütle transfer işlemi şu şekilde oluşmaktadır; ilk önce ürün, etrafında oluşan sıcak hava ile temas eder, ürün ısınır (ısı aktarımı). Ürünün üzerindeki nem sıcak hava ile aktarılır ve sonrasında ürünün iç kısımlarındaki nem, difüzyon ile (kütle aktarımı) yüzeye getirilir ve yüzeyden

uzaklaştırılır. Ortamdaki havanın sıcaklığı, nemi ve basıncı, kurutma işlemi sürecinde ısı ve kütle aktarımını etkileyen parametrelerdir (Karakaplan, 2017).

“Meyve ve sebzelerin soğutularak, dondurularak, kimyasal maddelerle işlemlerden geçirilerek, gaz bileşimi kontrol edilen ortamlarda depolanarak, ultraviyole ve radyoaktif ışıklardan yararlanarak da uzun süre saklanması mümkün olmakla birlikte bu uygulamalar içerisinde kendine en geniş uygulama alanı bulan yöntem kurutma yöntemidir. Kurutmadaki amaç; ortamdaki su aktivitesini (aw) belirli bir değerin altına indirmek suretiyle, ürünü mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirmektir (Demiray, 2009).”

Kurutma işlemleri milattan önceki dönemlerde kurutulmuş gıdalarla ilgili bilgiler mevcuttur. Örneğin: Eski Mısır’da yapılan araştırmalarda ambarların içinde kurutulmuş buğdaylara rastlanır iken, Çinlilerin eski dönemlerden beri çayların yapraklarını kuruttuklarına dair bilgilere rastlanmıştır (Demiray, 2009).

Williams (1980) tarafından yapılan araştırma sonucunda, en eski dönemlerde güneşin ve rüzgarın altında üzüm, incir, et ve balık gibi ürünlerin kurutulduğunu belirtmiştir. Bundan başka da ilk çağlarda gıda ürünlerini uzun süre saklayabilmek için dört yöntem olduğunu, bunların; kurutma, tuzlama, turşu yapma ve dumanlama yöntemlerinin kullanıldığı anlaşılmıştır (Demiray, 2009, s. 9).

17.yüz yıllarda savaşların yoğun olduğu dönemlerde gıda ürünlerinin uzun süre saklamaya ihtiyaç duymuşlar ve böylelikle gıdanın kurutulması ilk kez sanayide yerini alır. Sebze ve meyve gibi ürünlerin ilk kez fırında kurutulması Fransızlar tarafından yapılmıştır. Özellikle bu savaşın olduğu dönemlerde temel gıda gibi ürünlerin cepheye taşınması açısından hafif olması ve ayrıca besin değerlerini kaybetmeden uzun süreli muhafaza edilebilmesi açısından kurutulmuş gıda ürünlerine daha çok ihtiyaç duyulmuştur. Birinci Dünya savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri tarafından 4500 tona yakın kurutulmuş temel gıda ürünleri gemilerle cephelere gönderildiği bilinmektedir. Meyve ve sebzelerin kurutulup uzun süre muhafaza edilmesi Birinci Dünya Savaşından sonra daha önemli hale gelmiş ve güneşte kurutma yönteminden başka endüstri alanında birçok çalışmalar yapılarak çeşitli kurutma teknikleri geliştirilmiştir (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado 1996, akt. Dadalı, 2007, s. 3).

2.1.3. Kurutma Yöntemleri

2.1.3.1. Doğal Kurutma Yöntemi

Doğal kurutma yöntemi, meyve ve sebze gibi gıda ürünlerini açık hava da güneşin ısısından faydalanarak ürünlerin sıvı oranlarını düşürmek için uygulanan basit ve en eski çağlardan beri kullanılan yöntemdir. Güneş ısısından faydalanarak ürünlerin kurutulması birçok dezavantajı vardır. Örneğin: İsteddiğimiz sıvı oranına getiremeyiz, hava koşullarına kontrol edemediğimizden dolayı kurutma esnasında hava hızı kurutulan ürünün kalitesini etkiler, havanın biranda olumsuzlaşması, kurutma süresinin yavaş ilerlemesi, uçuşan hayvan çeşitleri ve böcekler gıdaya zarar verebilir. Bu yöntem istediğimiz tüm gıda ürünlerinin kurutulması için uygun değildir (Dadalı, 2007, s. 4).

2.1.3.2. Yapay Kurutma Yöntemi

Gıda ürünlerini kapalı ortamlarda ve kontrol altında ürünün istenilen sıvı oranına getirerek, ürünün besin değerlerini kaybetmeden kısa sürede hızlı sonuca ulaşılabilen kurutma yöntemidir. Diğer yönteme göre birçok olumlu yanları vardır. Örneğin: Kuruma süresi diğer yönteme göre kısa, ürünün nem oranı istenilen seviyeye getirilebilir, besin değerlerin de daha az kaybetmesi ve ürün kapalı ortamda kurutulmasının diğer avantajı temiz ve kaliteli olmasıdır (Demiray, 2009, s. 12).

Yapay kurutma yönteminin diğer yönteme göre yatırım açısından oldukça maliyetlidir. Bu yüzden ülkeler kurutma havasının ısısı için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmayı tercih etmektedirler. Kurutma havasının ısıtmasında jeotermal kaynak, güneş enerjisi gibi yenilenebilen kaynaklardan faydalanılması maliyeti düşürmektedir (Demiray, 2009, s. 12).

2.1.4. Kurutma Teknikleri

2.1.4.1. Güneşte Kurutma

En eski çağlardan bu zamana kadar yaygın olarak bilinen ve kullanılan yöntemlerden biri olan güneşte kurutma yöntemi, dünya da birçok ülke de olduğu gibi Türkiye’de de kullanılmaktadır. Kurutulacak ürünler güneşin olduğu yerlere serilerek doğrudan temas edilecek şekilde ayarlanılır, güneş ısısı ile ürün temas ederek ürün ısınır ve havadaki rüzgar ile ürünlerdeki nem uzaklaştırılır. Güneş ışığında kurutulan ürünler kontrol edilemeyen hava şartlarından dolayı nem oranları aynı olmayabilir. Kurutulan ürünlerin süreleri, hava şartlarına bağlı olmakla birlikte, ürünün nem oranına bağlı olarak ta değişim göstermektedir (Gökayaz, 2019, s. 12).

Güneşte kurutmanın birçok dezavantajı bulunmaktadır. Açık havada kurutmak için geniş ve büyük sahalara gereksinim duyulmakta, fazla işçi emeği istenmekte, kontrol edilemeyen hava şartları, uzun süreli kurutma, açık hava da korunması zor böcekler ve kirli ortamın oluşması, ürünleri hepsi istenilen nem oranına düşürülememesi gibi dezavantajlardan oluşmaktadır (Karakaplan, 2017, s. 9; Gökayaz, 2019, s. 13).

Güneş ışığında kurutmanın dezavantajları arttıkça ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte ürünü istenilen nem oranında kurutulabilen, kısa sürede hızlı ve kaliteli üretebilmek için çeşitli kurutma teknikler geliştirilmeye başlanmıştır (Karakaplan, 2017, s. 10).

2.1.4.2. Dondurularak (Liyofilizasyon) Kurutma

Dondurarak kurutma veya Liyofilizasyon olarak bilinen kurutma tekniğinde, düşük basınçla ürünün içeriğinde oluşan donmuş nemi süblimasyon ile uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntem de ilk olarak ürün içeriğindeki nem dondurulur daha sonra ürün yüzeyine sıcak hava uygulanarak süblimasyon işlemi uygulanır. İşlem yapılırken en önemli unsurların biri ürüne uygulanan sıcak hava hızıdır. Sıcak hava hızı ürüne uygulanırken donmuş ürünün erimemesi aynı zaman kurutma işlemin kısa süre de bitmesi için sıcak hava hızı yüksek olması gerekmektedir (Karakaplan, 2017, s. 11; Gökayaz, 2019, s. 5; Dadalı, 2007, s. 18).

Yatırım maliyeti açısından oldukça pahalı kurutma teknik olmasına rağmen, diğer yöntemlere göre besin değerleri, aroma ve tat açısından korunması, görünüm ve şekillerin az etkilenmesi, yani büzülme olmaması bu tekniğin avantajlarıdır. Dondurarak kurutma tekniği ile meyve suyu, et ve sebzelerde, çay ve kahve eldesin de kullanılırken, ayrıca diğer yöntemlerle kurutulamayan özellikle ilaç sanayisinde daha çok kullanılan yöntemlerin biridir (Karakaplan, 2017, s. 11; Gökayaz, 2019, s. 5; Dadalı, 2007, s. 18).

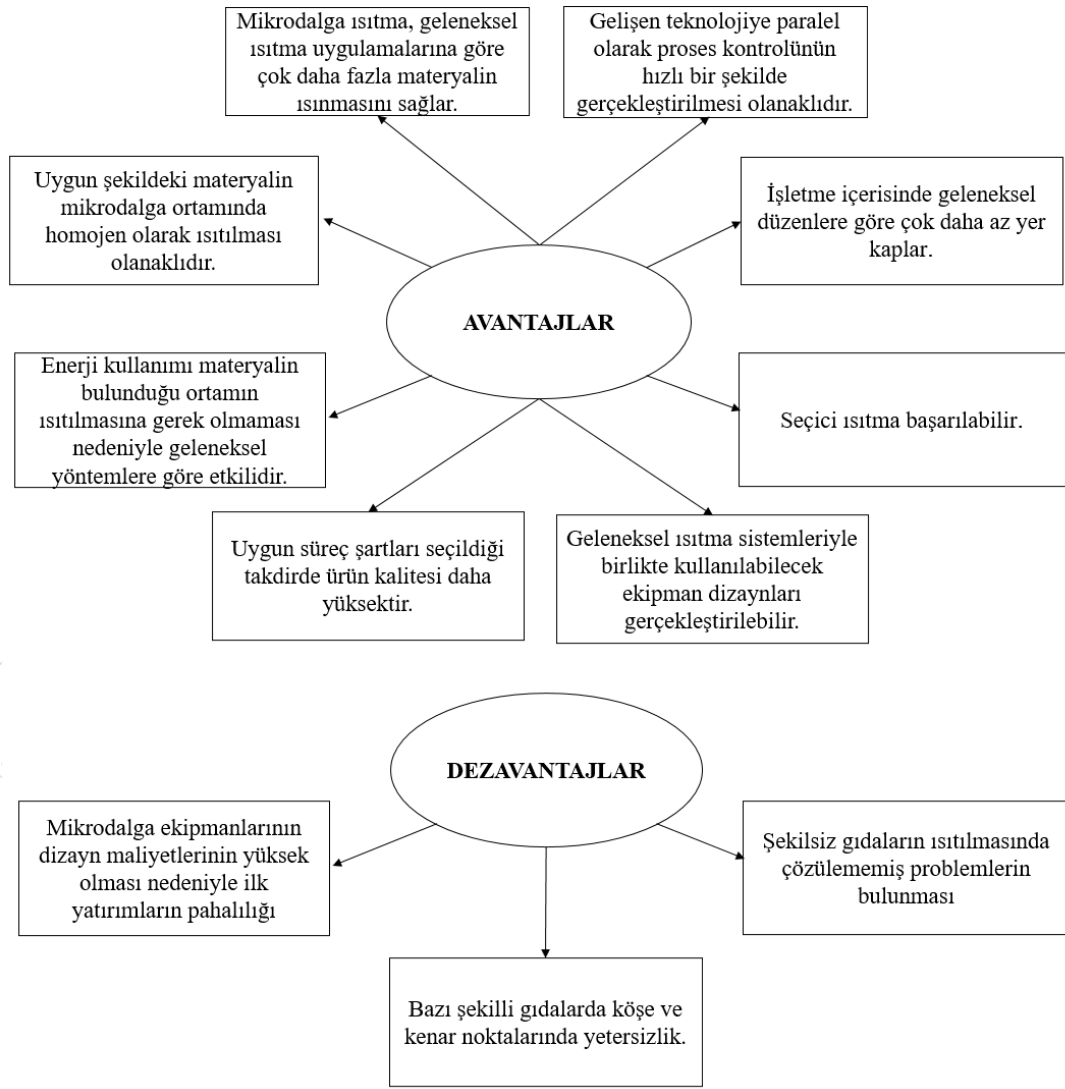
2.1.4.3. Mikrodalga İle Kurutma

Mikrodalga, 1 mm ile 1 m arasında oluşan manyetik alan ile 300 MHz – 300 GHz frekans arasında oluşan elektromanyetik dalgalar. Mikrodalga ile istenilen kalın madde ürünler ısıtılabilir, ayrıca yüksek nemli olan ürünlerinde istenilen oranlarda kurutulmaktadır (Dadalı, 2007, s. 19; Gökayaz, 2019, s. 9).

Diğer kurutma tekniklerinden farkı, kurutulacak ürünlere ısıнын dışardan değil de fırının içeriğinde oluşan mikrodalgalar ürünün içerisinde su moleküllerin titreşimi sonucunda ısı oluşmakta. Isı direkt ürünün içeriğinde oluşarak ürünün içeriğinde oluşan ısı ile nem buharlaşıp yüzeye çıkmaktadır. Mikrodalga ile oluşan ürünün içeriğindeki ısı homojen olarak ısınır ve kurutulacak ürünlerin nem oranları aynı derecede kurutulabilmektedir (Gökayaz, 2019, s. 9).

Mikrodalga kurutma tekniğinin yüksek maliyetli oluşu, kurutulacak ürünün şekli düzgün olmaması gibi dezavantajların olması yanında birçok avantajı da bulunmaktadır. Örneğin: Güneşte kurutma tekniğine göre daha az kurutma alanı kaplamakta, ürünler homojen olarak kurutulmakta, hijyen ortamın olması, ürünlerin nem oranını kontrol edilebilmektedir (Karateşer, 2017, s. 9; Gökayaz, 2019, s. 9).

Mikrodalga kurutma tekniğinin avantajları ve dezavantajları şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Mikrodalga Kurutma Tekniğinin Avantajları Ve Dezavantajları

Kaynak: Karateşer, M. A. (2017). *Güneş enerjisi destekli mikrodalga bantlı kurutucuda turpın kurutma kinetiklerinin araştırılması ve modellenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, Fen bilimler Enstitüsü.

2.1.4.4. Patlatmalı Puf Kurutma

Patlatmalı puf kurutma tekniği ile ürünü öncelikle farklı kurutma yöntemleri ile nem oranını %20 civarına getirerek daha sonra yüksek dereceli sıcaklıkta ve yüksek basınç etkisi ile daha az sürede puf edilerek ardından sıcak hava ile kurutma işlemi gerçekleştirip, ürünün nem oranını istenilen %3-5 nem değerine getirilmektedir. Ürünlerin içeriğindeki duyuşal ve dokusal besin değerlerini, renk ve aromasının

tadında en az kayıpla aynı zamanda ürünlerin raf ömrünü uzun süreli olmasını sağlayan kurutma yöntemidir (Köprüalan, Bodruk ve Ertekin , 2019, s. 81).

Puf kurutma yöntemi 1960 yıllarda ortaya çıkmış ve puf kurutma yöntemi ile çeşitli ürünler üzerinden farklı deneyler yapılarak kalite özellikleri üzerine etkilerini incelenmiştir. Zou vd. (2013) tarafından puf kurutma yöntemi ile mango kurutarak ürünün kalite özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda puf kurutma yönteminden önce mangoyu ozmotik ön kurutma işlemi yapıldığında ürünün daha da çıtır olması, nem oranının daha düşük renk açısından da taze mangoya yakın ayrıca tat olarak da daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Elma üzerinden yapılan bir diğer deneyde ise dondurarak kurutma, kalsiyum klorür uygulama, maltoz şurubunda bekletme ve pastörize süte daldırma şeklinde 4 farklı ön işlem yaptıktan sonra sıcak hava ile kurutarak nem oranı düşürülmüştür ardından patlatmalı puf kurutma yöntemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elma cipslerinin dondurarak ön işlem yapılması ile birlikte patlatmalı puf kurutma yöntemin birlikte uygulanması sonucunda daha iyi olduğunu belirtilmiştir (Köprüalan, Bodruk ve Ertekin, 2019, s. 86).

Chen vd. (2017) araştırmasında karadutun fizyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini dondurarak kurutma ile patlatmalı puf kurutma, sıcak hava ile patlatmalı puf kurutma yöntemi ile deneyler yapmışlar. Deneylerin sonucunda dondurarak kurutma patlatmalı puf kurutma kombinasyonu ile yapıldığında tat, renk ve doku açısından daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Dondurarak kurutma patlatmalı puf kurutma kombinasyonu diğer sıcak hava patlatmalı puf kurutma kombinasyonuna göre en iyi duyusal ve en yüksek dokusal değerlendirme puan aldığı bildirilmiştir (Köprüalan, Bodruk ve Ertekin, 2019, s. 86).

2.1.4.5. Jeotermal Enerji İle Kurutma

Jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynağıdır. Meyve ve sebzelerin kurutması için kullanılan jeotermal enerji kaynağı, diğer yöntemlerden daha çok avantajı bulunmaktadır. İlk etap da yatırım maliyeti yüksek olsa da geleneksel güneşte kurutma yönteminden avantajı homojen, hijyenik, besin değerlerin çok kaybetmeden kısa sürede kurutarak istenilen nem oranında kurutma avantajlarını sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan dolayı dört mevsimde de kurutma işlemi yapılabilmektedir. Ayrıca jeotermal enerji kaynağı çevre dostudur. Diğer kurutma yöntemlerinde kullanılan fosil yakıtların maliyetinden daha uygun ve aynı zamanda ülkenin dışa bağımlılığını azaltarak ekonomiye katkı sağlamaktadır. Jeotermal enerji kaynağı ile kurutma yönteminin diğer kurutma yöntemlerinden avantajı çok olsa da henüz dünya da çok kullanılmamaktadır (Boyacı, Boyacı ve Gürdal, 2018, s. 378).

Jeotermal enerji kurutma tekniği geliştirmek için çeşitli ürünlerde farklı deneyler yapılarak kurutulan ürünlerin kalite parametrelerin belirlenmesi üzerine sınırlı araştırmalar bulunmaktadır.

Helvacı vd. (2013) çalışmalarında zeytin yaprağını jeotermal enerji kurutma yöntemi ile kontrollü şartlarda kurutarak deneyler yapmış ve ürünün kurutma esnasında sıcak havanın ve hava hızının arasındaki ilişkiyi inceleyerek kalite parametrelerini belirlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda kuruma süresinin, artan sıcak havanın ve artan hava hızı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada zeytin yaprağının içeriğinde bulunan toplam fenolik ve toplam antioksidan madde kaybının en az olduğu optimum kuruma şartlarında hava hızı 1 m/s hava hızında ve 50°C hava sıcaklığında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Jeotermal kurutma sistemlerinde kurutma işlemi yapılırken makine ve ekipmanların çalışma prensibi diğer kurutma yöntemlerinden biraz farklı olarak çalışmaktadır. Fanları ve pompaları çalıştırmak için elektrik gücü kullanılır. Kurutma tesisine gelen jeotermal su tesis içerisindeki makine dairesine ulaşır. Burada bulunan elektrikli pompalar sayesinde kurutma fırınlarına pompalanır. Kurutma fırınlarında bulunan termostatik vanalar sayesinde gerekli olan su miktarı otomatik olarak fırın tarafından ayarlanır. Fırın içerisinde sıcaklığı sağlayan eşanjörler bulunur ve bu eşanjörler jeotermal suyun sağlamış olduğu sıcaklık ile ısınır. Her bir fırının içerisinde, eşanjörlerin sıcaklığını fırın içerisine dağıtması için fanlar bulunur. Bu fanlar sayesinde Jeotermal su kaynağı jeotermal enerjiye dönüşmüş olur (Andritsos, Dalampakis ve Kolios, 2003, s. 9).

Jeotermal enerji kullanılarak kurutulan tarım ürünlerinden bazıları domates, biber, elma, armut, çilek, muz, soğan sarımsak vb. 60'lı ve 70'li yıllarda başlayan en büyük kurutma üniteleri, İzlanda'da diyatumlu toprağın kurutulması ve Yeni Zelanda'da kereste ve yonca kurutmasıyla ilgilenmektedir. Dünya çapında, tarımsal

kurutma için kullanılan jeotermal enerji, 2000 yılının başında toplam jeotermal enerji kullanımının yaklaşık %0.5'ini temsil etmektedir (Andritsos, Dalampakis ve Kolios, 2003).

2.2. İlgili Araştırmalar

Çilek (*Fragaria x Ananassa*), ilkbaharda diğer meyvelere göre daha erken olgunlaşan meyve çeşidi olup, tüketici tarafından taze, kurutulmuş, kompostosu, reçeli veya likörü yapılarak tüketilebilen meyvedir. Çilek meyvesi lezzetli ve hoş kokulu olup, içeriğinde bol miktarda A, B, C vitaminleri, demir, kalsiyum ve fosfor mineralleri bulunur. Çileğin diğer meyve çeşitlerine göre raf ömrü kısa olmasından dolayı, farklı kurutma sistemleri ile raf ömrü uzatılarak muhafaza edilmekte ve tüketiciye sunulmaktadır. Kurutma yönteminde, besin değerleri, tat, renk ve aromasının korunması ile tüketime hazır olması gün geçtikçe piyasa talebi de artmaktadır. Kuru sebze ve meyveler piyasa da sağlıklı beslenmek için öğünler arasında atıştırılabilirlik olarak tüketilmektedir (Çakmak, 2019, s. 2).

Çilek ürünleri ile ilgili bir çalışmada, çileklerin vakumlu dondurarak kurutma öncesinde, farklı frekans modlarında ultrason destekli ozmotik ön işlemin çilek dilimlerinin nem ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutulmuş çilek ürünlerinin rehidrasyon, sertlik, renk, tat, toplam antosiyaninler, toplam fenoller, C vitamini içeriği ve aktif antioksidan bileşenler dahil olmak üzere kalite özellikleri belirlenmiştir. Araştırma sonucunda farklı frekans modlarına sahip ultrasonik ön işlemin, çilek dilimlerinin kurutma sürecini ve kalite özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Her türlü ultrasonik frekans, kuruma süresini önemli ölçüde kısalttığını ortaya çıkarmıştır. Çilek dilimlerinin nem durumunu ve mikro yapısını değiştirerek kuruma süresini büyük ölçüde azaltmıştır. Ultrason ile ısıtılan dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin rehidrasyon kapasitesi, sertliği ve tadı iyileştirildiği görülmüştür (Xu, ve diğerleri, 2021).

Adak, Heybeli ve Ertekin (2017) araştırmasında, Kızılötesi güç, kurutma havası sıcaklığı ve hızı gibi farklı kurutma koşullarının çilek kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kuruma süresi, artan kızılötesi güç, hava sıcaklığı ve hızı ile

azalmıştır. Gücün 100 W'tan 300 W'a, sıcaklığın 60°C 'tan 80°C 'ye ve hızın 1.0 m.s'l'den 2.0 m.s'l'e artması meyve renk kalite indeksini düşürmüştür. Toplam fenol ve antosiyanin içeriği için 300 W, 60°C ve 1.0 m.s diğer deney koşullarına göre üstün bulunmuştur. Sonuç olarak, yüksek besin kalitesi ve biyoaktivite sağlamak için konvektif-kızılötesi kurutma sisteminin kullanılması önerilmektedir. Kızılötesi gücün, sıcaklığın ve hızın düşürülmesi meyve rengi açısından tercih edilir. Bununla birlikte, çilekteki biyoaktif bileşikler (antioksidan aktivite, toplam antosiyanin, toplam fenol içeriği) ve besin maddelerini tutmak için 200 W – 300 W, 60°C – 100°C ve 1– 1,5 m.s en uygun kurutma koşulları olduğu tespit edilmiştir.

Mendez-Lagunas ve ark. (2017) araştırmasında çileklerin termal kurutma işleminde 50°C ve 60°C' de 1.5m/s hızda çileklerde antioksidan aktivite ve fenolik madde gibi biyoaktif bileşenler üzerine etkisini araştırdıklarında antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriği için sırayla %74 ve %78'e varan kayıp olduğunu belirtmişlerdir.

Szadzinska, Kowalski ve Stasiak (2016) çalışmalarında, birlikte veya ayrı ayrı hareket eden mikrodalgalar ve ultrason ile geliştirilmiş çileklerin konvektif kurutmasının araştırması yapılmıştır. Bu biyolojik ürün için farklı mikrodalga ve ultrason uygulamaları ve referans test olarak saf konvektif kurutma ile uygulanan beş kurutma programı gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların amacı, hibrit kurutmanın kurutma kinetiği, toplam enerji tüketimi ve bu kurutulmuş ürünün kalitesi üzerindeki etkisini analiz etmektir. Mikrodalgalar ve ultrason destekli konvektif kurutmanın, çileklerde ısı ve kütle transferinin etkinliğini önemli ölçüde iyileştirdiği kanıtlanmıştır. Ancak mikrodalga ve ultrason farklı enerji kaynakları olarak enerji tüketimini ve ürün kalitesini farklı şekillerde etkilemektedir. Mikrodalgalar en fazla "ısıtma etkisi" yaratır ve ultrason önemli ölçüde "titreşim etkisi" ortaya çıkarır. Birlikte hareket eden bu enerji kaynaklarının her ikisi de "sinerjistik etki" nedeniyle kuruma hızını hızlandırdığı görülmektedir.

Gamboa-Santos ve ark. (2014), çalışmalarında çilek ürününün besin değerlerinden biri olan C vitamini, kurutma esnasında meydana gelen kayıp miktarını araştırmışlardır. Kurutma esnasında, kurutmanın sıcaklığı ve kurutma işleminin zamanı artması C vitaminin kaybını artırdığını ortaya çıkarmışlar. Araştırmalarının

sonucunda konvektif kurutma yöntemi ile yüksek besin değeri ve kaliteli kurutulmuş çilekler elde edileceğini bildirmişlerdir (Cankurtaran, 2018, s. 3).

El-Beltagy, Gamea ve Essa (2005) çalışmalarında, çilek meyvesinin güneşte kurutma yöntemi ile kurutulmasını Mısır'da araştırmıştır. Çilekleri tam, yarım, çeyrek ve 3 mm diskler olarak farklı şekillerde %1 sodyum metabisülfite + %1 sitrik asit, %1 askorbik asit + %1 sitrik asit ön işleme tabi tutulmuş, daha sonra güneş enerjisi ısıtıcısı tarafından ısıtılan hava, elektrikli fan tarafında kurutma işlemi, Newton modeli ile deney yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda, deney Mısır'ın hava koşullarında başarılı bir şekilde test edilmiş olup, kurutma havasını ısıtmak için güneş kollektörünün performansının tatmin edici olduğu varsayılmıştır, ortam sıcaklığını, çilek kurutma için yeterli kabul edilen pik koşullarda 47°C'ye kadar yükseltilebilmektedir. 18.5, 13.1, 11.5 ve 11.3 nem içeriğine ulaşmak için gerekli kuruma süreleri tam, yarım, çeyrek ve 3 mm diskler için sırasıyla 28, 26, 20 ve 24 saat olmuştur. Ön işlem ve dilimleme, çileğin kimyasal bileşimini etkilememiştir. Sodyum metabisülfite içeren solüsyonla ön işleme tabi tutulmuş kurutulmuş çilek, aromalı keklerin hazırlanmasında tazesine kıyasla kabul edilebilir derecede %3 oranında eklenebilmektedir.

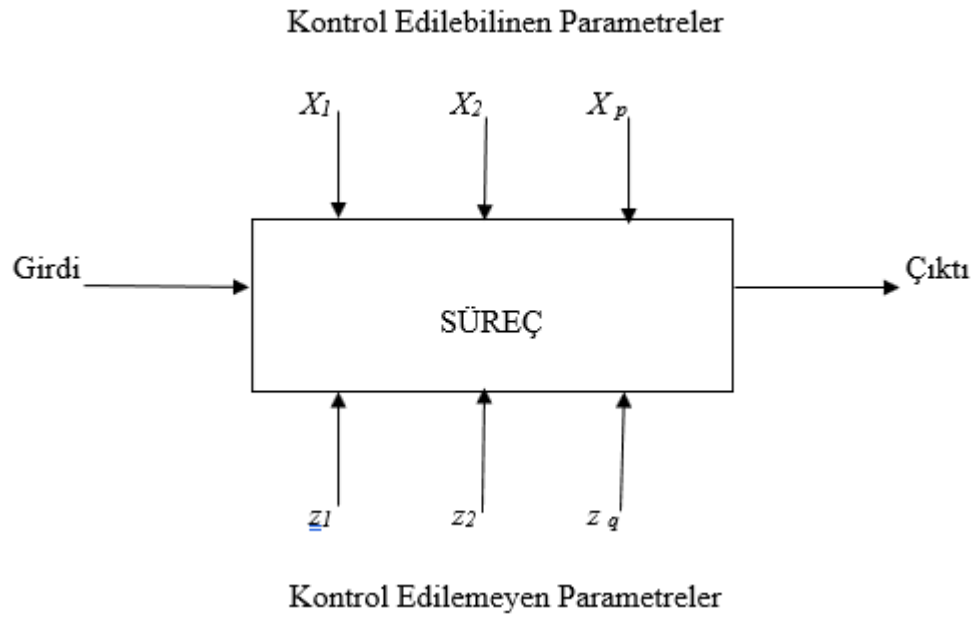
2002 yılında Birleşik Krallık'ta bir grubun çalışmasında, elma, muz, çilek, ahududu, şeftali, marul, pırasa gibi birçok sebze ve meyvelerin üzerinde ürünlerin içeriğindeki bulunan antioksidan kapasite testi analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucuna göre çilek ürünü diğer meyve ve sebze ürünlerine karşılaştırıldığında en yüksek antioksidan değeri bulunmuştur. Antioksidan değeri yüksek olan besinler insan sağlığı açısından bağışıklık sistemini güçlendirme etkisine sahip besin değeridir. Araştırmaların sonucunda çilek ürününün çeşitli tedavi edici sağlık yararı olan gıda olarak sınıflandırmak için kanıtlar sunulmaktadır (Basu, Nguyen, Betts, and Lyons, 2014, s. 791).

3. YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Modeli

Deney tasarımı bir sistemin veya belirli bir sürecin performansını daha iyi olması için, sistemi etkileyen faktörleri gözlemleyerek, sürecin girdi ve çıktıları üzerinde değişiklikler yaparak deneylerin yapılması ve yorumlanmasıdır (Demir, 2004, s. 19).

Deney tasarımıdaki bir sürecin genel modeli şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Sürecin Genel Modeli

Kaynak: Demir, L. (2004). *İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

Süreç, bir ürünün üretiminde belirli bir girdi ve çıktıların sonucunda ürünü etkileyen malzeme, makine vb. gibi kaynakların kullanılması sırasındaki faaliyet olarak tanımlanmaktadır. Buradaki faktörler ise deneylerin sonuçlarını etkileyen

kontrol edilemeyen ve kontrol edilebilen değişkenlerdir. Süreci etkileyen faktörlerin bazılarına istenilen değerler atanabilir ve istenilen değeri, sürecin işleyiş sırasında sabit tutulabilir. Bu faktörlere ise kontrol edilebilen faktörler denilmektedir. Örneğin: Bir ürünün üretim sürecinde malzeme tipi, makine ayarları ve üretim şekli kontrol edilebilen faktörlerdir. Üretim esnasında ortamdaki nem, hava sıcaklığı vb. çevresel faktörler her ne kadar ölçülmeye çalışılsa da üretim esnasında sabit tutulması veya istenilen derecelerde tutulması imkansızdır. Bu yüzden bu faktörler kontrol edilemeyen faktörler olarak adlandırılmaktadır (Demir, 2004, s. 20).

Deney tasarımı ürünün kalitesini araştırma ve geliştirme faaliyeti sırasında, ürünün kalitesinin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi, kaynakların verimli kullanılması için kontrol edilebilen faktörlerin belirlenmesi ve kontrol edilemeyen faktörlerin ise daha az duyarlı olan değerlerin belirlenmesi için kullanılan yöntemdir (Savaşkan, Taptık ve Ürgen, 2004, s. 119).

Deney tasarımının temel amacı ürünün üretim sürecindeki faktörlerin davranışlarını gözlemleyerek, bilgilerin toplanması, ürünün kalitesini etkileyen faktörleri belirleyerek ürünün kalitesini daha iyi olması için hangi faktörlerin hangi değerlerin alması gerektiğini tespit etmektir (Demir, 2004, s. 20).

Deney tasarım teknikleri mühendislikte üretim süreçlerinin performansını geliştirilmesinde ve kalite iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik kullanılması ile ürün geliştirilmesi için aşağıdaki katkılar elde edilmektedir (Demir, 2004, s. 21):

- Kaynakların verimli kullanılarak maliyet düşürülmesi
- Ürün çıktı miktarların artırılması
- Üretim sürecini etkileyen değişkenlerin azaltılması

Deney tasarımı tekniği ilk olarak tarım alanında çeşitli gübre dozları ile iklim koşulları ve sulama düzeyinin çeşitli ürünlere etkisini belirlemek için uygulanmıştır. 1930'lu yılların başları da ilk defa endüstri uygulamasında İngiliz tekstil sanayisinde kullanılmıştır. Daha sonra kimya ve ilaç üretim sektöründe, 1970 yıllarında ise imalat sektörlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Montgomery, 1991'den aktaran Demir, 2004, s. 23).

1920 yılında Fisher ilk olarak tarım alanında yaptığı çalışması sonucunda ortaya çıkarmıştır. Fisher deney tasarımı 3 temel yöntem oluşturmuştur. Bunlar: Benzerini oluşturma, bloklama ve rassallaştırmadır (Sarı, 2005, s. 4).

1951 yılında Box ve Wilson tarafından endüstriyel sektörde deney tasarımı uygulanmıştır. Box ve Wilson yaptıkları çalışmalarında Yanıt Yüzey Yöntemi geliştirilmiştir. Böylece kimya ve üretim endüstrisinde hızlı ve verimli üretim için araştırma ve geliştirilme için bu yöntem kullanılmaya başlamıştır yalnız o dönemlerde eğitimin ve teknolojinin gelişmediğinden dolayı üretim fabrikalarında yaygın olarak kullanılamamıştır (Sarı, 2005, s. 4).

3.2. Evren ve Örneklem

Deney tasarımının uygulamasında ilk adım problemin tanımlanmasıdır. Bu adımda deneyin amacı belirlenerek bununla ilgili tüm bilgiler toplanır. İncelenecek süreçle ilgili bilgilerin, ilgili birimlerden gerekli olan bilgilerin toplanması, problemin sorunun en iyi anlaşılması ve çözümlenmesi açısından katkıda bulunmaktadır.

İkinci adımda ise üretim sürecine etki eden, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin tespit etmek. Daha sonra araştırma sırasında faktörlerin hangi seviyede deneme yapılacağı, nasıl kontrol edileceği ve ölçüleceği belirlenmektedir.

Diğer üçüncü aşamada ise sürecin çıktıları tespit edilmelidir. Süreç ile ilgili gerekli bilgiler toplanarak çıktı değişkenleri belirlenmelidir. Daha sonraki aşamada ise problemin amacına bağlı olarak uygulanabilen deney tasarımı tekniğine karar verilmektedir. Deneyin amacına göre probleme uygun olan deney tasarımı tekniği uygulanacağı belirlenir (Demir, 2004, s. 24).

Uygulanacak deney tasarımı tekniği belirlendikten sonra deneyler yapılır. Deneyler sırasında planlanan sürece uygun şekilde yürütüldüğü gözlemlenir. Deneylerden sonra elde edilen deney verileri ile birlikte objektif sonuca ulaşabilmek için istatistiksel programlar ile değerlendirilir. Deneylerin veri analizi için birçok program paketleri bulunmaktadır. Örneğin: SPSS, MINITAB, SAS vb.

Veri analizi yapıldıktan sonra deney yapan kişi sonuçları yorumlamalıdır. Deney sonuçlarının doğruluğunu teyit etmek için uygunluk testleri gerçekleştirilebilmektedir (Demir, 2004, s. 26).

3.3. Veri Toplama Araçları ve Teknikleri

Box ve Wilson'ın oluşturduğu ve geliştirdiği yanıt yüzey yöntemi “Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması” şeklinde tanımlanmıştır. Yanıt yüzey yöntemi birçok faktörden oluşan problemi hızlı ve daha iyi sonuca ulaşmasını sağlamaktadır. Mühendislik ve bilim dalında yaygın olarak kullanıldığı bilinen bu yöntem deneysel çalışmalarda parametrelerin etkin olanları seçme, etkin olmayan parametreyi çıkarma ve eş zamanda değiştirebilme, az deney çalışması ile en yüksek miktarda veriye ulaşma gibi avantajı bulunmaktadır. Bir deney çalışmasında araştırılan aralıktaki en yüksek değerdeki noktayı bulabilmek ve etkin parametrenin belirlenmesi için yanıt yüzey yöntemi kullanılmaktadır. Bunun için aşağıda gösterilen yanıt yüzey yöntemi denklemi kullanılır (Elbaş, 2018, s. 33):

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) + \varepsilon \quad (1)$$

- Y: Bağımlı Yanıt Değişkeni
- $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$: Bağımsız değişkenler fonksiyonu
- ε : Hata terimi olarak adlandırılmaktadır.

Cevap yüzey yöntemi birinci ve ikinci derece modellerden oluşmaktadır. Genelde problemlerde bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi açıklanabilmesi açısından ve eşitliği sağlamak için birinci ve ikinci dereceden denklemler kullanılmaktadır (Dümenci, 2018, s. 39).

Birinci derece modelin 1.denklem aşağıda gösterilmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 x_i \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2)$$

Önceden planlanmış şekilde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen yanıtla göre polinom uygulanır. Bu yüzden optimum noktaya yakın alan tespit edilir ve yanıt değişkenine bağlı ikinci dereceden polinom modeli oluşturulur. İkinci derece modelinin 2.denklemini aşağıda gösterilmektedir

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} X_{ij} \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3)$$

Cevap yüzey yönteminde ikinci dereceden modelin esnek olması, ayrıca parametrelerin tahmin edilmesi kolay olmasından dolayı çok tercih edilmektedir (Sarı, 2005, s. 18).

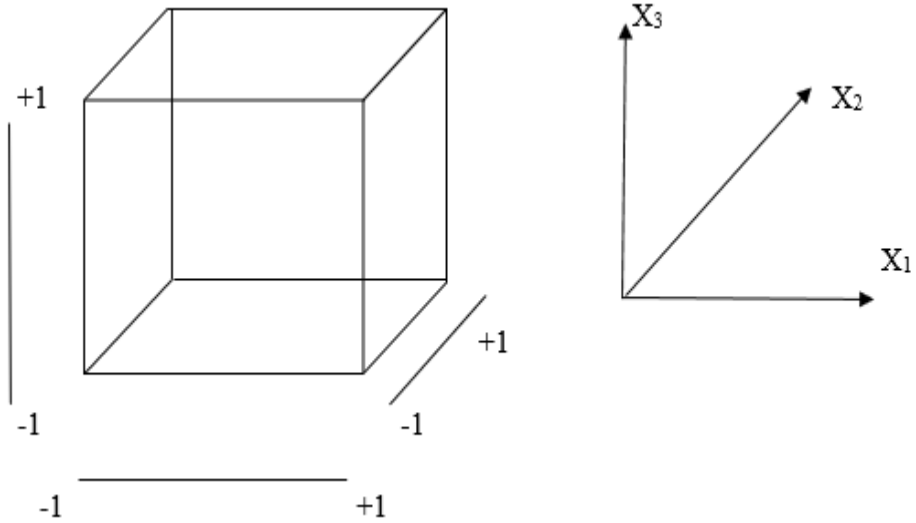
Planlanan deneyler amacına uygun olan farklı yanıt yüzey tasarımları kullanılmaktadır. Yanıt Yüzey yönteminde yaygın olarak kullanılan yöntemleri: Box-Behnken Tasarımı, Merkezi Kompozit Tasarımı, D-optimal Tasarım, Doehlert Tasarımı, Plackett-Burman Tasarımı'dır (Dümenci, 2018, s. 42).

3.4. Verilerin Toplanma Süreci

Yanıt yüzey yöntemlerin arasındaki Box-Behnken deney tasarımı ilk olarak 1951 yılında Box ve Wilson tarafından ortaya çıkarılmış ve geliştirilmiştir. Bu deney tasarımının diğer yöntemlerden farkı minimum düzeyde deneylerin yapılması sonucunda deney sürecini optimize etmektir. Cevap değişkenlerinin optimize edilmesinde az sayıda değişkenin söz konusu olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Özellikle bir cevap değişkenini matematiksel olarak tahmin etmek ya da bir prosesi optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu deneysel tasarım yöntemi, kübik modelin kenarları ve kenar orta noktalarının ele alındığı ikinci dereceden bir modeldir (Köksoy, 2001'den aktaran Dümenci, 2018, s. 43).

Box-Behnken deney tasarımı, $2k(k-1) + nc$ formülü ile deney sayısı belirlenirken, buradaki nc merkez noktasındaki deney sayısını, k ise değişken sayısını ifade etmektedir (Narendran vd., 2019'dan aktaran Tan Erkoç, 2021, s. 53).

Box-Behnken tasarımı Şekil 8'de küp üzerinden gösterilmiştir. Küpün sınırları her bir değişkenin alt ve üst sınırlarından oluşmaktadır. Küpün sınırları içinde kalan noktalar prosesi fiziksel kısıtlardan dolayı uygulanması mümkün olmamasından dolayı avantajlı yöntemdir. Tasarımın oluşturulması esnasında bağımsız değişkenlerinin biri merkez noktası olarak seçilmektedir ve bu nokta 0 temsil etmektedir. Merkez noktasına eşit uzaklıkta bulunan noktalar ise +1 ve -1 değerleri olarak belirtilmektedir. Sistem döndürülebilir olmasından dolayı üç veya beş tane deney merkez noktalarında gerçekleştirilmektedir (Vittal vd., 2012'den aktaran Çebi, 2022, s. 36).



Şekil 8. Box-Behnken Tasarımının Sınırları

Kaynak: Dümenci, N. A. (2018). *Endüstriyel arıtma çamurlarının Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi kullanılarak kompostlaştırılması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tasarımın ilk adımında belirlenen üç parametre için optimum sınır içerisindeki noktalardan merkez noktaların seçilmesi ve araştırmayı yapan kişi aralıkları belirlemesi gerekmektedir. Deneyler faktör sayısına bağlı olarak değişmektedir. Sonuç olarak yanıt yüzey yönteminde kullanılabilecek tablo aşağıdaki çizelge 7’de gösterilmektedir.

Çizelge 7. Üç Faktör İçin Box-BehnkenTasarımı

	Faktörler		
Deney Sayısı	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0

Çizelge 7-devam

5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Kaynak: Dümenci, N. A. (2018). *Endüstriyel arıtma çamurlarının Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi kullanılarak kompostlaştırılması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Box-Behnken üç faktörlü deney tasarımı için 15 tane deneyin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Faktör sayısı arttıkça da deney sayısı da artmaktadır. Tasarım birçok alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin: Kimya, çevre mühendisliği, kimya mühendisliği, imalat, gıda teknolojisi vb. (Aycan Dümenci, 2018, s. 46).

Box-Behnken deney tasarımı dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki şekil 9’da gösterilmektedir (Tan Erkoç, 2021, s. 53).

1. Seçilen değişkenlere göre deney planı hazırlanır

2. Matematiksel modeldeki katsayılar tahmin edilir ve model doğruluğu kontrol edilir

3. İstatistiksel olarak tasarlanmış deneyler yapılır

4. Optimal koşulları tahmin etmek için cevap analizi yapılır ve bu tahminler deneysel olarak onaylanılır

Şekil 9. Box-Behnken Deney Tasarımının Dört Temel Aşaması

Kaynak: Tan Erkoç, N. (2021). *Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi uygulanarak turuncgillerin antioksidan aktiviteleri için ekstraksiyon yönteminin optimizasyonu*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

3.5. Verilerin Analizi

Çekicilik fonksiyonu ilk defa Harrington (1965) tarafından geliştirilmiştir. Çoklu yanıt optimizasyonu (MRO) sorunların çözümü için uygulama da sıklıkla kullanılan tekniklerden biridir. Bu teknik, her cevabı bireysel çekicilik fonksiyonuna dönüştürür. Burada bireysel çekicilik fonksiyon aralığı $0 \leq d_i \leq 1$ 'dir. Eğer cevap hedefindeyse $d_i = 1$, eğer yanıt kabul edilebilir bir hedef de değil ise $d_i = 0$ 'dır. Yani tahmin (Y) yanıt hedefe yaklaştıkça bireysel çekicilik değeri (d_i)'de artmaktadır. Burada en iyi ayar maksimize edilerek belirlenir (Türkşen ve Ertunç, 2015, s. 144).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_r)^{1/r} \quad (4)$$

4. Denklemdaki amaç fonksiyonunda cevap çekicilik değeri artıkça 1'e yaklaşmaktadır. Derringer ve Suich (1980) tarafından çekicilik fonksiyonuna sistematik dönüşümler sunarak Harrington'un yaklaşımını genişletmektedir. Ayrıca, çekicilik fonksiyonu denklem 5'de oluşturulmuştur (Türkşen ve Ertunç, 2015, s. 144).

$$D = (d_1^{w1} \times d_2^{w2} \times \dots \times d_r^{wr})^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (5)$$

4. BULGULAR VE YORUMLAR

Çilek (Strawberry, *Fragaria x Ananassa* Duch.) dünya çapında popüler ve yaygın olarak tüketilen meyvelerdir ve birçoğu insan üzerinde yararlı etkileri olan antioksidan kapasiteye sahiptir. Bu meyvelerin beslenmeyle ilgili en önemli yönlerinden biri, yüksek C vitamini içermektedir. Ayrıca çilek diğer meyvelere göre oldukça çabuk bozulur ve taze formda yalnızca kısa bir süre için bulunur. Yüksek su içeriği ve yüksek solunum hızı nedeniyle hasattan sonra biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişiklikler meydana gelebilir. Sonuç olarak, çileklerin sadece küçük bir miktarı taze olarak tüketilirken, hasadın çoğu kurutularak, dondurularak veya meyve suları, reçeller, jöleler, likörler vb. şekillerde tüketilmektedir (Stevanovic, ve diğerleri, 2021, s. 2).

Çalışmanın amacı çileklere kimyasal maddeler kullanılmadan, besin değerlerini kaybetmeden uzun süreli muhafaza edilebilmek ve kaliteli üretilmesi için kurutma ile saklama konusunda uygun üretim parametrelerini belirlemektir.

Bu çalışmada Balıkesir ilinin, Sındırgı ilçesinde bulunan BALKURU işletmesinde jeotermal enerji kaynağı ile çileği kontrollü şekilde kurutulmasını gerçekleştirmek ve ürünün kalitesini etkileyen parametrelerini belirlenmesi için deneyler yapılmaktadır.

Araştırmanın başlangıcında Sındırgı ilçesinde bulunan jeotermal enerji ile sebze ve meyvelerin kurutulduğu BALKURU tesisini ziyaret edilerek, tesisin kuruluş bilgileri, kurutmada kullanılan jeotermal enerjinin konumu, tesisin departmanlarını, kurutulan meyve ve sebzelerin kurutma kapasitesi vb. gibi tesisteki mevcut durumla ilgili bilgileri yüz yüze görüşülerek elde edilmiştir.

4.1. İşletmeye Ait Bilgiler

Balkuru jeotermal sebze meyve kurutma tesisi Sındırgı Belediyesi tarafından işletilmekte olup kadın ve dezavantajlı grupları istihdam ederek faaliyetlerini

sürdürmektedir. Tesiste kullanılan jeotermal kaynak Sındırgı ilçe merkezine 24 km uzaklıkta bulunan Hisaralan Mahallesiindeki kuyudan 98⁰C sıcaklık ile yeryüzüne çıkmaktadır. Tesis 1350 metre kare kapalı alan, 1350 metrekare açık alana kurulu olup, tesisin içerisinde toplamda 25 personel çalışmaktadır.

Tesisin içerisinde ürün kabul bölümü, ürün yıkama bölümü, ürün dilimleme ve hazırlama bölümü, fırınlama bölümü, paketleme bölümü, soğuk hava deposu, kasa yıkama bölümü ve ürünlerin çıkış bölümü bulunmaktadır.

4.2. Deneylerin Planlanması Ve Gerçekleştirilmesi

Deney çalışmasının amacı belirlemek için işletmenin pazarlama müdürü ile görüşülerek müşterilerin mevcut ve olabilecek beklentilerini değerlendirerek, ürünün kalitesini artırmak ana amaç olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ana amacına ulaşabilmek için deney çalışmaları için deney tasarım ekibi oluşturulmuştur. Deneyin planlanması ve kalite parametrelerin belirlenmesi için deney tasarımı ekibi olan Pazarlama Müdürü, Gıda Mühendisi, Üretim Amiri ve Vardiya Amirinin fikir ve görüşleri değerlendirilmiştir. Yapılan toplantı sonucunda çalışmada çileklerin kurutulmasında kalite parametreleri belirlenmiştir.

İncelenen çilek ürününde 3 adet kontrol faktörüne ilişkin etkiler ortaya konmuştur. Kurutmada kontrol edilebilen bağımsız değişkenler, yani faktörler fan hızı, fırın derecesi ve pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerin minimum, maksimum ve orta değerleri işletmeden alınan veriler ile belirlenmiş ve Box-Behnken deney tasarımına göre deney çalışması yapılmıştır.

İşletmeden alınan veriler ve kontrol edilebilen faktörler ve değerleri aşağıdaki çizelge 8’de gösterilmektedir.

Çizelge 8. Kontrol Edilebilen Faktörler Ve Değerleri

Semboller	Kod	Faktörler	Düzeyler (levels)		
			-1	0	1
X1	A	Fan Hızı	50	75	100
X2	B	Fırın Derecesi	55	65	75
X3	C	Pişme Süresi	8	10	12

Deney çalışmasında 3 düzeyli üç kontrol edilebilen değişken için Box-Behnken yöntemine göre 15 deney sayısından oluşmaktadır. Faktör sayısı $k = 3$ için 15 deneme noktası oluşmakta olup, merkez noktası için 3 tekrar gerçekleştirilmektedir. Deneyler Box-Behnken tasarım standart deney sırasına göre yapılmıştır. Deneylerin yapılmasında kullanılan deneme düzeni aşağıdaki çizelge 9’da gösterilmektedir.

Çizelge 9. Box-Behnken Tasarımı İle Oluşturulan Deneme Düzenine Göre Faktör Düzeyleri

		Fan Hızı	Fırın Derecesi	Pişme Süresi	Fan Hızı	Fırın Derecesi	Pişme Süresi
Std	Run	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	3	-1	-1	0	50	55	10
2	7	1	-1	0	100	55	10
3	1	-1	1	0	50	75	10
4	6	1	1	0	100	75	10
5	8	-1	0	-1	50	65	8
6	5	1	0	-1	100	65	8
7	13	-1	0	1	50	65	12
8	9	1	0	1	100	65	12
9	10	0	-1	-1	75	55	8
10	12	0	1	-1	75	75	8
11	2	0	-1	1	75	55	12
12	11	0	1	1	75	75	12
13	4	0	0	0	75	65	10
14	14	0	0	0	75	65	10
15	15	0	0	0	75	65	10

Yapılan deneylerde ürün kalitesini etkilemeyen faktör etkilerinden kaçınabilmek için rassallaştırma yapılması uygun görülmüştür. Ürünlerin nem oranının ölçülmesi ve duyuşsal puan değerlendirilmesi aynı anda çok fazla ürünlerin analizi yapılması işletme laboratuvar koşulları açısından hem maliyet hem de süre açısından uygun olmadığı için her denemede fırının farklı bölgelerinden numuneler alınarak 4 ayrı nem oranı ve tek duyuşsal puan değerlendirmeleri yapılmıştır. Denemelerin kısa süre de gerçekleşmesi için tekrar eden sayısı 4 ile sınırlandırılmış ve basit rassallaştırma stratejisi uygulanmıştır.

İşletme de çizelge 9’da yer alan kontrol edilebilen faktör değerlerine göre deneyler yapılmıştır. Ölçümlere ilişkin kullanılan düzen Ek-1’de verilmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki çizelge 10’da gösterilmektedir.

Çizelge 10. Deney Sonuçları

Std	run	X1	X2	X3	Nem1	Nem2	Nem3	Nem4	Dp1
1	3	50	55	10	6,4	6,4	6,5	6,5	3
2	7	100	55	10	5,1	5,1	5	5	4
3	1	50	75	10	4,5	4,4	4,5	4,5	5
4	6	100	75	10	2,2	2,2	2,3	2,3	10
5	8	50	65	8	6,2	6,2	6,3	6,3	3
6	5	100	65	8	3,2	3,2	3,5	3,4	7
7	13	50	65	12	4,3	4,3	4,3	4,3	5
8	9	100	65	12	2,5	2,5	2,6	2,6	9
9	10	75	55	8	5,6	5,6	5,7	5,7	4
10	12	75	75	8	2,7	2,7	2,9	2,9	8
11	2	75	55	12	4,1	4,1	4,2	4,2	6
12	11	75	75	12	1,4	1,4	1,5	1,5	2
13	4	75	65	10	3,4	3,3	3,3	3,4	7
14	14	75	65	10	3,4	3,3	3,3	3,4	7
15	15	75	65	10	3,4	3,3	3,3	3,4	7

4.3. Sonuçların Analiz Edilmesi

Çalışma da analizlerin yapılması ve sonuçlara göre grafiklerin ve tabloların oluşturulması için Minitab (18) yazılım programından faydalanılmıştır.

Yanıt yüzey yönteminde yanıt, yani bağımlı değişken üzerinde hangi faktörlerin veya etkileşimlerin önemli olduğunun belirlenmesi için hipotez testleri yapılmaktadır. İncelenen parametreler hakkında bir varsayımın belirli bir anlamlılık düzeyinde (α) geçerliliğinin araştırılması hipotez testleri olarak adlandırılmaktadır. Varyans analizi (ANOVA) yapılırken F testi için p değerleri ile karşılaştırılma yapıp yorumlanabilir, sonuçlara göre değerlendirilebilir. Eğer p değeri < “anlamlılık düzeyi” ise H_0 red, p değeri $\geq$ “anlamlılık düzeyi” ise H_0 kabul olmaktadır. Hipotez testlerinin yapılmasında; F testinde elde edilen anlamlılık düzeyleri araştırılmakta, ayrıca

modelin açıklama gücünün belirlenmesi için belirlilik katsayısı R^2 değeri de kullanılabilmektedir. Kurulan modeldeki R^2 ve R^2 (Düzeltilmiş, Adj) değerleri yüksek ise bu durum değişkenliğin iyi açıklandığını göstermektedir (Orhunbilge, 2000, s. 131,180).

Araştırmada modelin anlamlılığını araştırılması, modele etki eden faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin hangilerinin anlamlı olduğunu belirlenebilmesi için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. Nem değerleri ve duyusal puan değerleri için ayrı ayrı oluşturulan modellere ilişkin modelin yeterlilik kontrolü yapılmış ve incelenmiştir. Bağımsız değişkenlerin değişim etkisi ayrıca grafikler üzerinde de incelenmiştir. Üç boyutlu yanıt yüzeyleri ve iki boyutlu kontur grafikleri kullanılarak üretim parametrelerinin birbirleriyle ve yanıt değişkenleri ile olan ilişkileri yorumlanmıştır.

4.3.1. Nem Değerinin Analiz Edilmesi

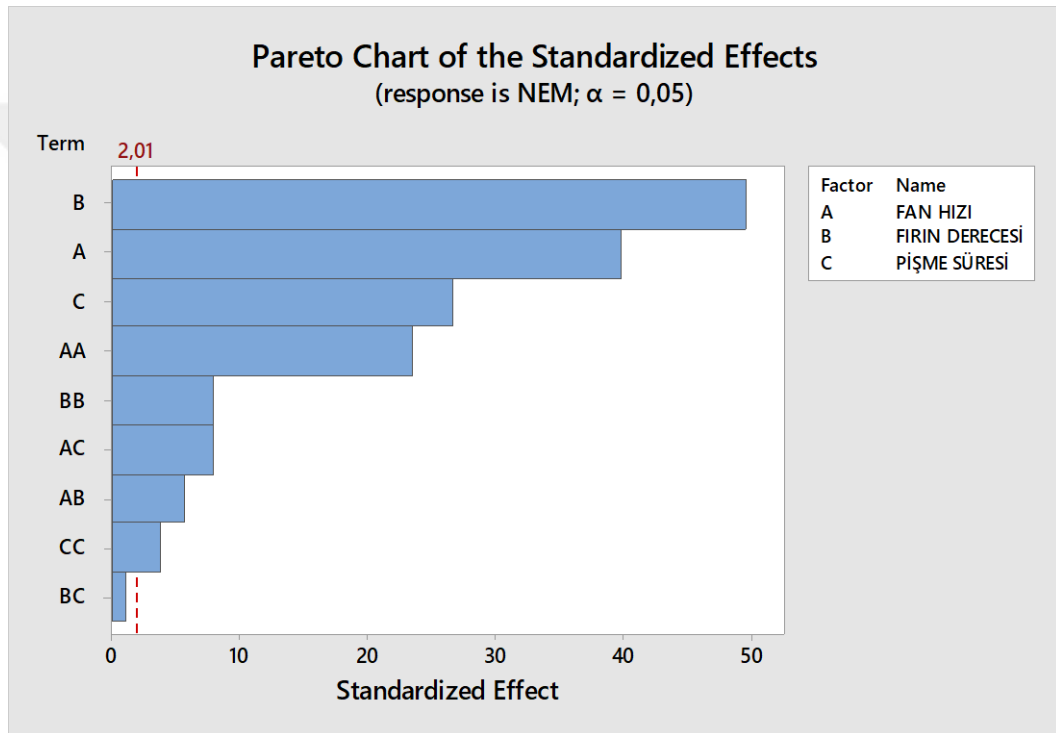
Analizde nem değeri için değişkenlerin anlamlılığını araştırmak için, modeldeki katsayılar için elde edilen p değerleri incelenmiştir. ANOVA tablosuna göre modeldeki değişkenlerden p değeri 0,05'ten küçük olanların etkisi anlamlıdır. Nem değeri analizinde B*C (fırın derecesi*pişme süresi) değerleri 0,313 olduğu için anlamlılığını yitirmektedir. Pareto grafiği incelendiğinde de BC değerinin anlamlılığını yitirdiği görülmektedir. Bu yüzden nem değeri için tekrar BC değerlerini çıkartılarak analiz edilmiştir. ANOVA tablosu çizelge 11'de, standardize etkilerin 1.pareto grafiği şekil 10'da gösterilmektedir.

Çizelge 11. Nem Karakteristiği İçin 1.Varyans Analizi

	SD	KT	KO	F	P
Model	9	118,959	13,2177	609,46	0,000
Linear	3	103,288	34,4294	1587,52	0,000
FAN HIZI	1	34,445	34,4450	1588,24	0,000
FIRIN DERECEŚİ	1	53,303	53,3028	2457,77	0,000
PİŞME SÜRESİ	1	15,540	15,5403	716,56	0,000
Square	3	13,587	4,5290	208,83	0,000
FAN HIZI*FAN HIZI	1	11,963	11,9631	551,61	0,000
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	1	1,385	1,3852	63,87	0,000
PİŞME SÜRESİ*PİŞME SÜRESİ	1	0,305	0,3052	14,07	0,000

Çizelge 11- devam

2-Way Interaction	3	2,084	0,6946	32,03	0,000
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	1	0,681	0,6806	31,38	0,000
FAN HIZI*PIŞME SÜRESİ	1	1,381	1,3806	63,66	0,000
FIRIN DERECEŚİ*PIŞME SÜRESİ	1	0,022	0,0225	1,04	0,313
Error	50	1,084	0,0217		
Total	59	120,043			



Şekil 10. Nem Karakteristiğı İçin Standardize Etkilerin 1.Pareto Grafiğı

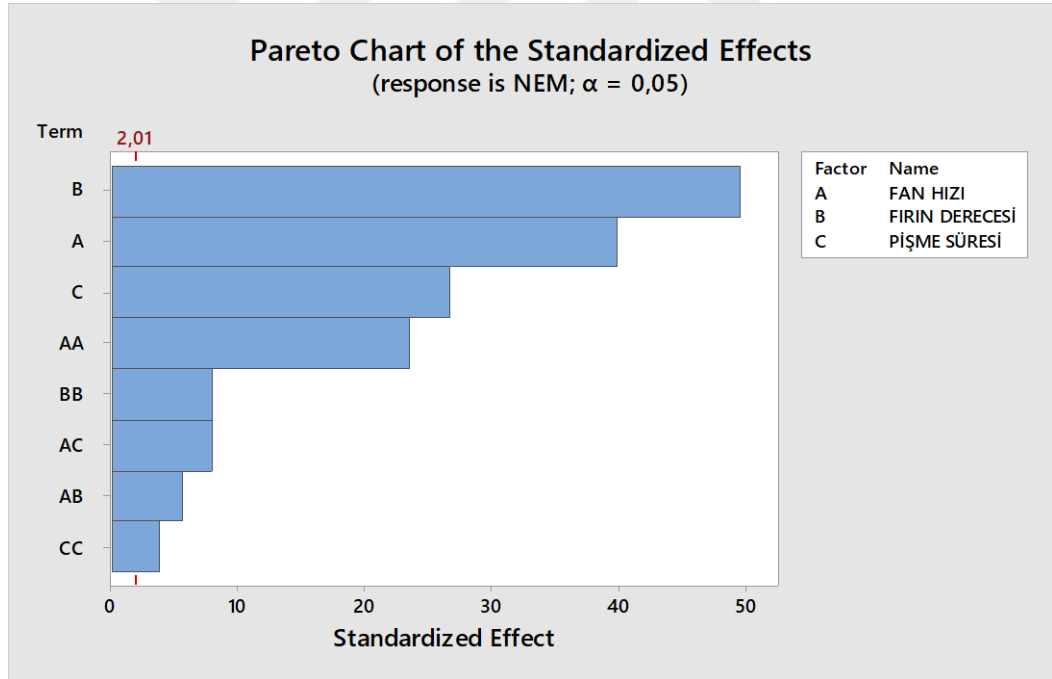
Tekrar edilen varyans analizi ve pareto grafiğı sonucuna göre modeldeki katsayılar için elde edilen değışkenlerin p değeri 0,05'ten küçük olduğı için A, B, C A^2 , B^2 , C^2 , AC, AB ve CC etkileri anlamlı ve önemlidir. Analizin sonucu çizelge 12'de ve şekil 11'de gösterilmektedir.

Çizelge 12. Nem Karakteristiğı İçin 2.Varyans Analizi

	SD	KT	KO	F	P
Model	8	118,936	14,8671	685,01	0,000
Linear	3	103,288	34,4294	1586,36	0,000
FAN HIZI	1	34,445	34,4450	1587,08	0,000

Çizelge 12-devam

FIRIN DERECEŚİ	1	53,303	53,3028	2455,96	0,000
PİŞME SÜRESİ	1	15,540	15,5403	716,03	0,000
Square	3	13,587	4,5290	208,68	0,000
FAN HIZI*FAN HIZI	1	11,963	11,9631	551,21	0,000
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	1	1,385	1,3852	63,82	0,000
PİŞME SÜRESİ*PİŞME SÜRESİ	1	0,305	0,3052	14,06	0,000
2-Way Interaction	2	2,061	1,0306	47,49	0,000
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	1	0,681	0,6806	31,36	0,000
FAN HIZI*PİŞME SÜRESİ	1	1,381	1,3806	63,61	0,000
Error	51	1,107	0,0217		
Total	59	120,043			



Şekil 11. Nem Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 2.Pareto Grafiği

Modele ilişkin R^2 (ADJ) değeri 97,08 olduğundan bağımsız değişkenlerin nem değerini açıklama düzeyinin % 97 ile yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. VIF (varyans enflasyon faktörü) tolerans değerleri 1 ve 1'e ykın olduğu için çoklu doğrusal bağlantı bulunmamaktadır. Elde edilen denklem izelge 13'de gösterilmektedir.

Çizelge 13. Tablo R² Model Özeti

S	R ²	R ² Düzeltilmiş	R ² Tahmin
0,147321	99,08%	98,93%	98,65%

Çizelge 14. Tablo Katsayılar

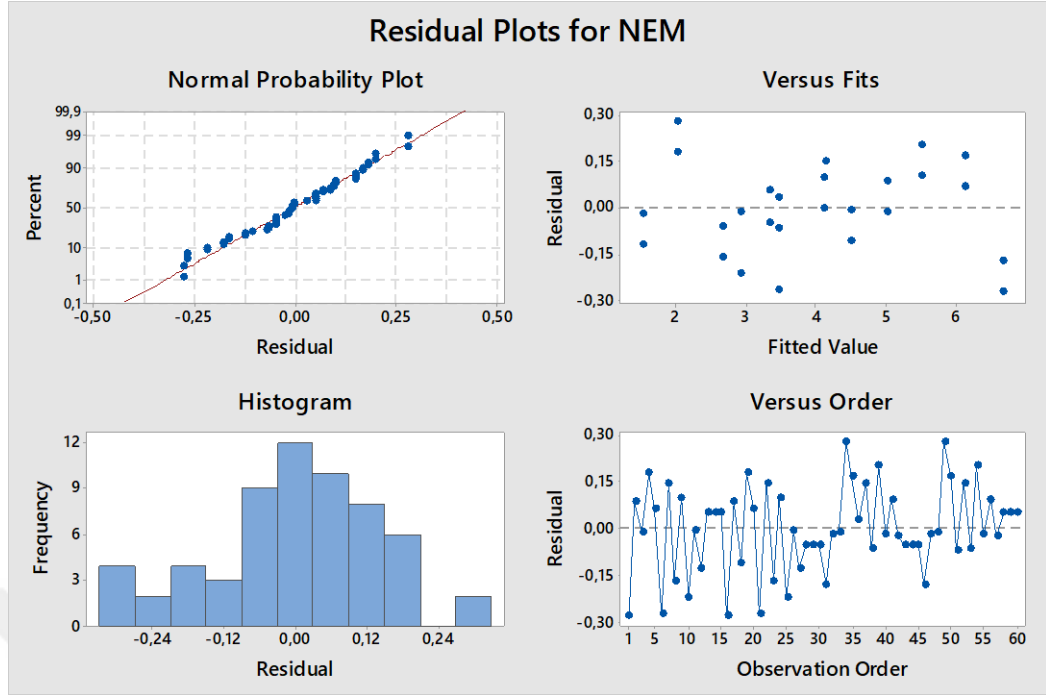
TERİM	KATSAYI	KATSAYI SH	T	P	VIF
SABİT	3,3500	0,0425	78,77	0,000	
FAN HIZI	-1,0375	0,0260	-39,84	0,000	1,00
FIRIN DERECEŚİ	-1,2906	0,0260	-49,56	0,000	1,00
PİŞME SÜRESİ	-0,6969	0,0260	-26,76	0,000	1,00
FAN HIZI*FAN HIZI	0,9000	0,0383	23,48	0,000	1,01
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	0,3063	0,0383	7,99	0,000	1,01
PİŞME SÜRESİ*PİŞME SÜRESİ	-0,1437	0,0383	-3,75	0,000	1,01
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	-0,2063	0,0368	-5,60	0,000	1,00
FAN HIZI*PİŞME SÜRESİ	0,2938	0,0368	7,98	0,000	1,00

Denklem 1. Nem Regresyon Denklemi

$$Y_1 = 36,17 - 0,2626 X_1 - 0,4653 X_2 - 0,070 X_3 + 0,001440 X_1 * X_1 + 0,003063 X_2 * X_2 - 0,03594 X_3 * X_3 - 0,000825 X_1 * X_2 + 0,005875 X_1 * X_3$$

$$\text{Nem} = 36,17 - 0,2626 \text{ Fan Hızı} - 0,4653 \text{ Fırın Derecesi} - 0,070 \text{ Pişme Süresi} + 0,001440 \text{ Fan Hızı} * \text{Fan Hızı} + 0,003063 \text{ Fırın Derecesi} * \text{Fırın Derecesi} - 0,03594 \text{ Pişme Süresi} * \text{Pişme Süresi} - 0,000825 \text{ Fan Hızı} * \text{Fırın Derecesi} + 0,005875 \text{ Fan Hızı} * \text{Pişme Süresi}$$

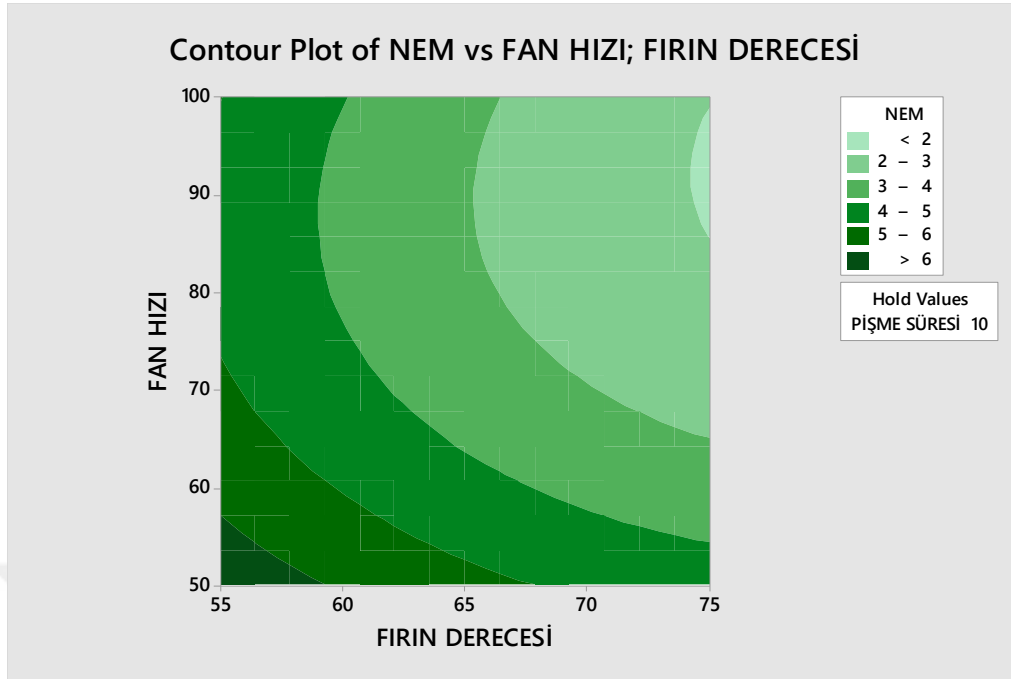
Elde edilen modelin hata (Artık, Error, Recidual) analizine göre hatalar bağımsızdır, rassal ve normal dağılmaktadır. Hatalara ilişkin grafikler şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Nem Modeli Hata Grafiği

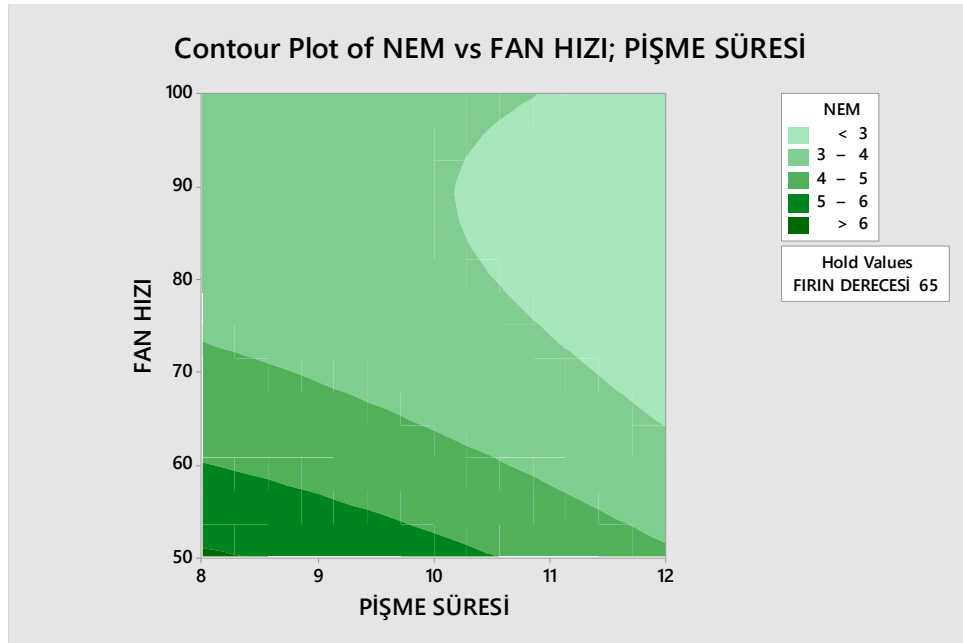
Çalışmada nem karakteristiği için faktörlerin etkisi ayrıca yanıt yüzeyi kontür grafikleri ile araştırılmıştır. Yanıt yüzey grafiği ikiden fazla parametre seviyelerinin yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin üç boyutlu olarak gösteriminde kullanılan grafiklerdir. Eğer ikiden fazla parametre varsa diğerlerinin seviyeleri sabitlenerek ilgilenilen parametrelerin değerlerini görmek de mümkündür. Kontür grafikleri yanıt yüzeyi yöntemlerinin sonuçlarını en iyi şekilde gösteren grafiklerdendir. X ve Y eksenlerinde parametreler yer alır iken eksen içlerinde kalan kısımlar yanıt yüzeyinin aldıkları değerleri göstermektedir. Bunlar katsayılara bağlı olarak maksimum ya da minimum noktanın olduğu eliptik ya da dairesel biçim, eyer noktası, durağan sırt, artan ya da azalan sırt şeklinde olabilir (Kökkılıç, 2011, s. 80).

Nem yanıtı için pişme süresi sabit tutulduğunda fırın derecesi ve fan hızının etkilerinin incelenmesi şekil 13’de verilen kontür grafiğine göre fan hızı ve fırın derecesinin düşük değerlerinde nem seviyesinin yükseldiği görülmektedir. Açık renkli bölgede minimum noktanın yer aldığına ilişkin izlenim oluşmaktadır. Ayrıca görünüm bunlar arasında etkileşimin işaretini vermektedir.



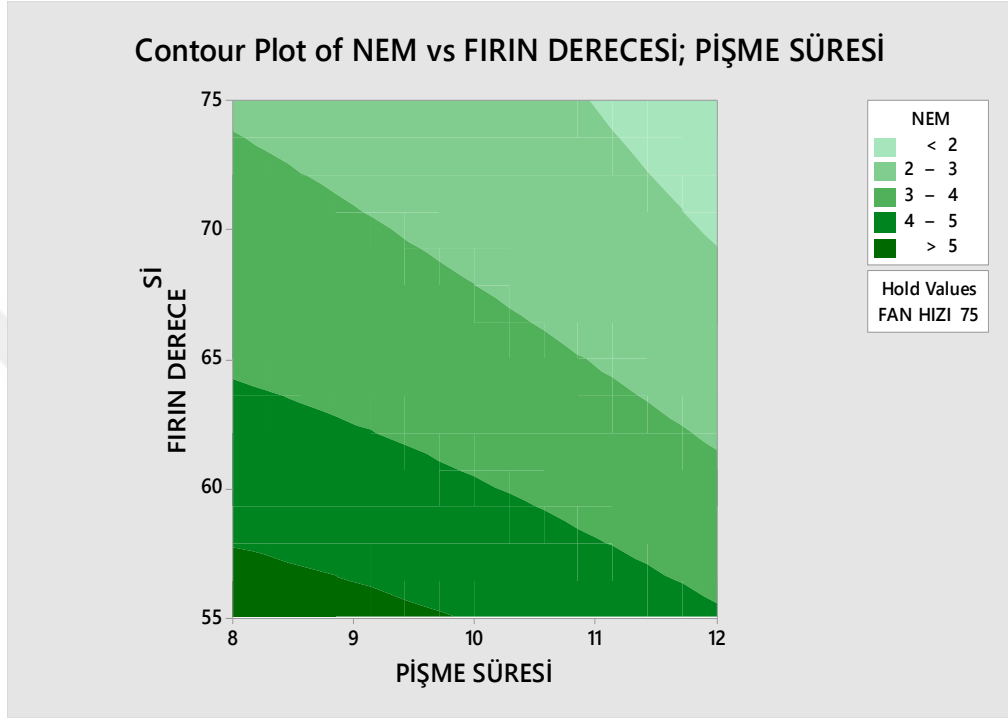
Şekil 13. Nem Değeri İçin Fırın Derecesi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği

Nem yanıtı için fırın derecesi sabit tutulduğunda pişirme süresi ve fan hızının etkilerinin incelenmesi şekil 14’de verilen kontur grafiğine göre fan hızı ve pişme süresinin düşük değerlerinde nem seviyesinin yükseldiği görölmektedir. Açık yeşil renkli bölgede minimum noktanın yer aldığına ilişkin izlenim oluşmaktadır. Ayrıca görönüm bunlar arasında etkileşimin işaretini vermektedir.



Şekil 14. Nem Değeri İçin Pişirme Süresi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği

Nem yanıtı için fan hızı sabit tutulduğunda pişirme süresi ve fırın derecesi etkilerinin incelenmesi şekil 15’de verilen kontur grafiğine göre fırın derecesi ve pişme süresinin düşük değerlerinde nem seviyesinin yükseldiği görülmektedir. Nem değerinin açık yeşil renkli bölgede minimum noktanın yer aldığına ilişkin izlenim oluşmaktadır.



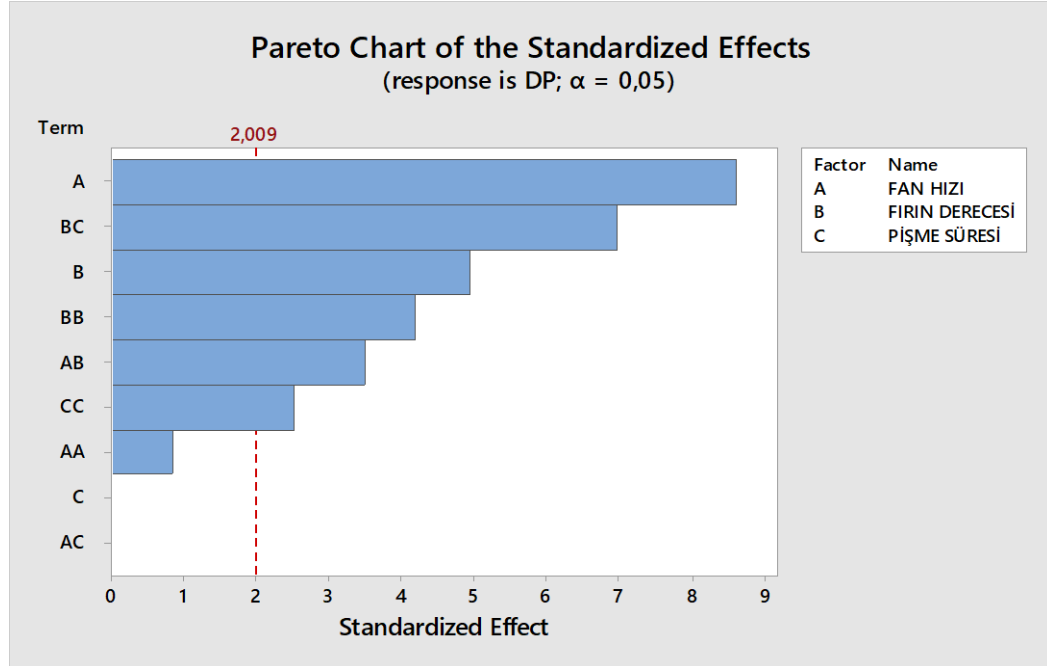
Şekil 15. Nem Değeri İçin Pişirme Süresi Ve Fırın Derecesi Kontur Grafiği

4.3.2. Duyusal Puan Değerinin Analiz Edilmesi

Analizde duygusal puan değeri için değişkenlerin anlamlılığını, modeldeki katsayılar için elde edilen p değerleri incelenmiştir. ANOVA tablosuna göre modeldeki değişkenlerden p değeri 0,05’ten küçük olanların etkisi anlamlıdır. Duyusal puan değeri analizinde C (pişirme süresi), A*A (fan hızı * fan hızı), A*C (fan hızı * pişirme süresi) için p değeri 0,05’den büyük olduğu için anlamlılığını yitirmektedir. Pareto grafiği incelendiğinde de AA, AC ve C değerinin anlamlılığını yitirdiği görülmektedir. Bu yüzden duygusal puan değeri tekrar AA ve AC terimleri çıkartılarak analiz edilmiştir. ANOVA tablosu çizelge 15’de, standardize etkilerin 1.pareto grafiği şekil 16’da gösterilmektedir.

Çizelge 15. Duyusal Puan Karakteristiği İçin 1.Varyans Analizi

	SD	KT	KO	F	P
Model	9	239,600	26,6222	20,17	0,000
Linear	3	130,000	43,3333	32,83	0,000
FAN HIZI	1	98,000	98,0000	74,24	0,000
FIRIN DERECEŚİ	1	32,000	32,0000	24,24	0,000
PİŞME SÜRESİ	1	0,000	0,0000	0,00	1,000
Square	3	29,600	9,8667	7,47	0,000
FAN HIZI*FAN HIZI	1	0,923	0,9231	0,70	0,407
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	1	23,077	23,0769	17,48	0,000
PİŞME SÜRESİ*PİŞME SÜRESİ	1	8,308	8,3077	6,29	0,015
2-Way Interaction	3	80,000	26,6667	20,20	0,000
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	1	16,000	16,0000	12,12	0,001
FAN HIZI*PİŞME SÜRESİ	1	0,000	0,0000	0,00	1,000
FIRIN DERECEŚİ*PİŐME SÜRESİ	1	64,000	64,0000	48,48	0,000
Error	50	66,000	1,3200		
Total	59	305,600			

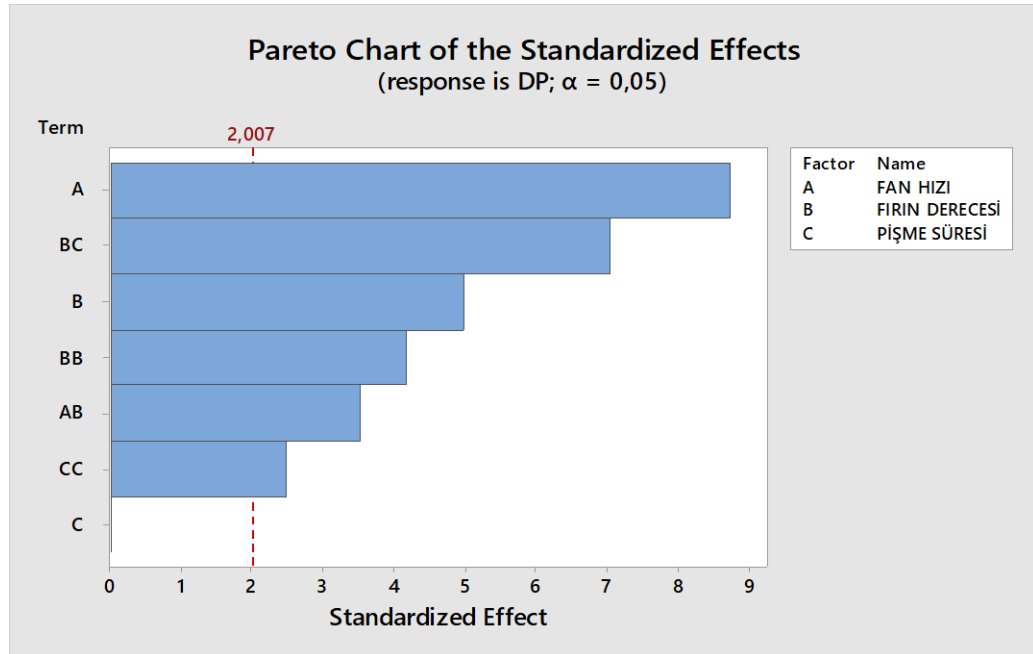


Şekil 16. Duyusal Puan Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 1.Pareto Grafiği

Tekrar edilen varyans analizi ve pareto grafiği sonucuna göre modeldeki katsayılar için elde edilen değişkenlerin p değeri 0,05'ten küçük olduğu için A, B, BB, AB, BC ve CC etkileri anlamlı ve önemlidir. Analizin sonucu çizelge 16'da standardize etkilerin 1.pareto grafiği şekil 17'de gösterilmektedir.

Çizelge 16. Duyusal Puan Karakteristiği İçin 2.Varyans Analizi

	SD	KT	KO	F	P
Model	6	220,076	36,679	25,97	0,000
Linear	3	136,000	45,333	32,10	0,000
FAN HIZI	1	128,000	128,000	90,63	0,000
FIRIN DERECEŚİ	1	8,000	8,000	5,66	0,021
PİŞME SÜRESİ	1	0,000	0,000	0,00	1,000
Square	1	26,076	26,076	18,46	0,000
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	1	26,076	26,076	18,46	0,000
2-Way Interaction	2	58,000	29,000	20,53	0,000
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	1	9,000	9,000	6,37	0,015
FIRIN DERECEŚİ*PİŞME SÜRESİ	1	49,000	49,000	34,69	0,000
Error	53	74,857	1,412		
Total	59	294,933			



Şekil 17. Duyusal Puan Karakteristiği İçin Standardize Etkilerin 2.Pareto Grafiği

Modele ilişkin R^2 (ADJ) değeri %75,15 olduğundan bağımsız değişkenlerin duyusal puan değerini açıklama düzeyinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. VIF tolerans değerleri 1 ve 1'e yakın olduğu için çoklu doğrusal bağlantı bulunmamaktadır. Elde edilen denklem çizelge 17'de gösterilmektedir.

Çizelge 17. Tablo R^2 Model Özeti

S	R^2	R^2 Düzeltilmiş	R^2 Tahmin
1,13445	78,10%	75,15%	69,12%

Çizelge 18. Tablo Katsayılar

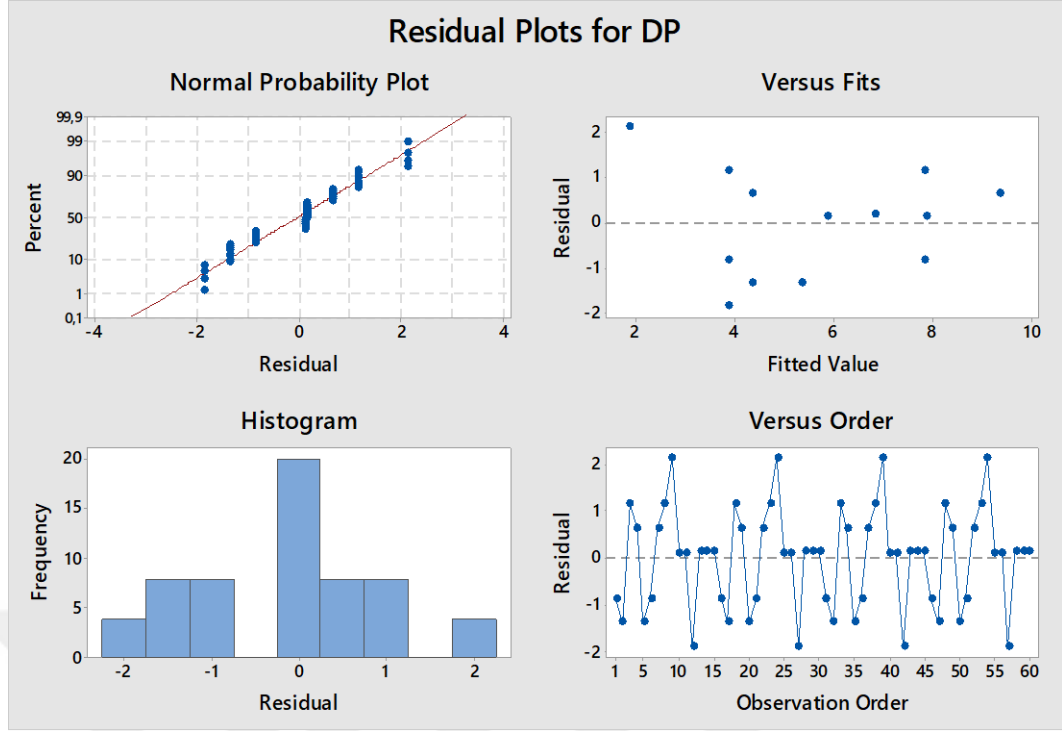
TERİM	KATSAYI	KATSAYI SH	T	P	VIF
SABİT	6,846	0,272	25,12	0,000	
FAN HIZI	1,750	0,201	8,73	0,000	1,00
FIRIN DERECEŚİ	1,000	0,201	4,99	0,000	1,00
PİŞME SÜRESİ	0,000	0,201	0,00	1,000	1,00
FIRIN DERECEŚİ*FIRIN DERECEŚİ	-1,231	0,294	-4,18	0,000	1,01
PİŞME SÜRESİ*PİŞME SÜRESİ	-0,731	0,294	-2,48	0,016	1,01
FAN HIZI*FIRIN DERECEŚİ	1,000	0,284	3,53	0,001	1,00
FIRIN DERECEŚİ*PİŞME SÜRESİ	-2,000	0,284	-7,05	0,000	1,00

Denklem 2. Duyusal Puan Regresyon Denklemi

$$Y_2 = -120,7 - 0,1900 X_1 + 2,400 X_2 + 10,15 X_3 - 0,01231 X_2 * X_2 - 0,1827 X_3 * X_3 + 0,00400 X_1 * X_2 - 0,1000 X_2 * X_3$$

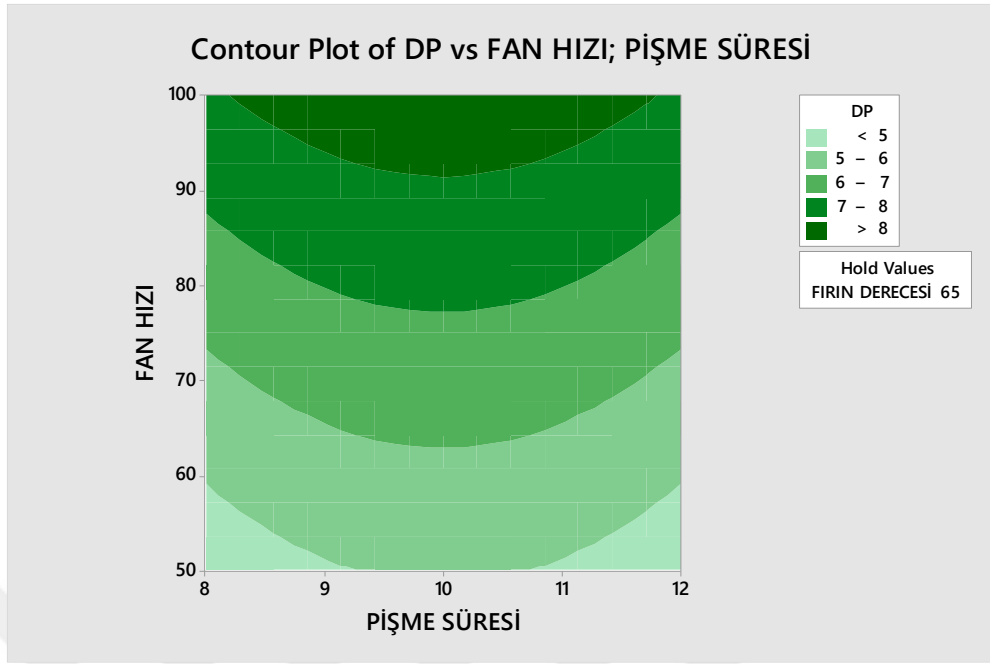
$$DP = -120,7 - 0,1900 \text{ Fan Hızı} + 2,400 \text{ Fırın Derecesi} + 10,15 \text{ Pişme Süresi} - 0,01231 \text{ Fırın Derecesi} * \text{Fırın Derecesi} - 0,1827 \text{ Pişme Süresi} * \text{Pişme Süresi} + 0,00400 \text{ Fan Hızı} * \text{Fırın Derecesi} - 0,1000 \text{ Fırın Derecesi} * \text{Pişme Süresi}$$

Elde edilen modelin hata (Artık, Error, Recidual) analizine göre hatalar bağımsızdır, rassal ve normal dağılmaktadır. Hatalara ilişkin grafikler şekil 18'de verilmiştir.



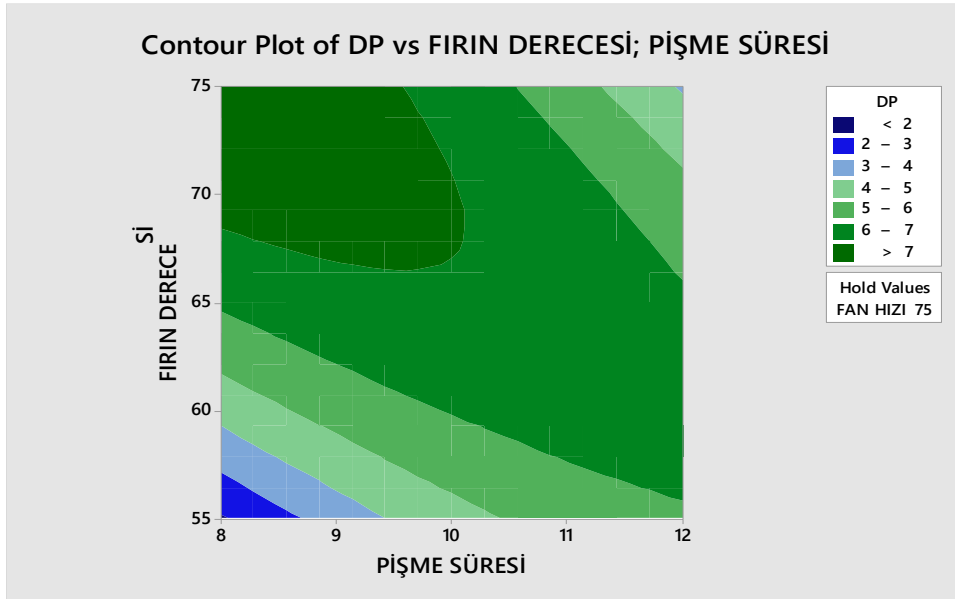
Şekil 18. Duyusal Puan Modeli Hata Grafiği

Çalışmada duyusal puan karakteristiği için faktörlerin etkisi ayrıca yanıt yüzeyi kontur grafikleri ile araştırılmıştır. Duyusal puan için fırın derecesi sabit tutulduğunda pişirme süresi ve fan hızının etkilerinin incelenmesi Şekil 19’da verilen kontur grafiğine göre fan hızı yüksek olduğu değerlerde duyusal puan seviyesinin yükseldiği görülmektedir. Duyusal puan değerinin koyu yeşil renkli bölgede maksimum noktanın yer aldığına ilişkin izlenim oluşmaktadır. Ayrıca görünüm bunlar arasında etkileşimin olmadığı görülmektedir. Pişme süresinin her seviyesinde fan hızı yükseldikçe duyusal puan değeri artmaktadır.



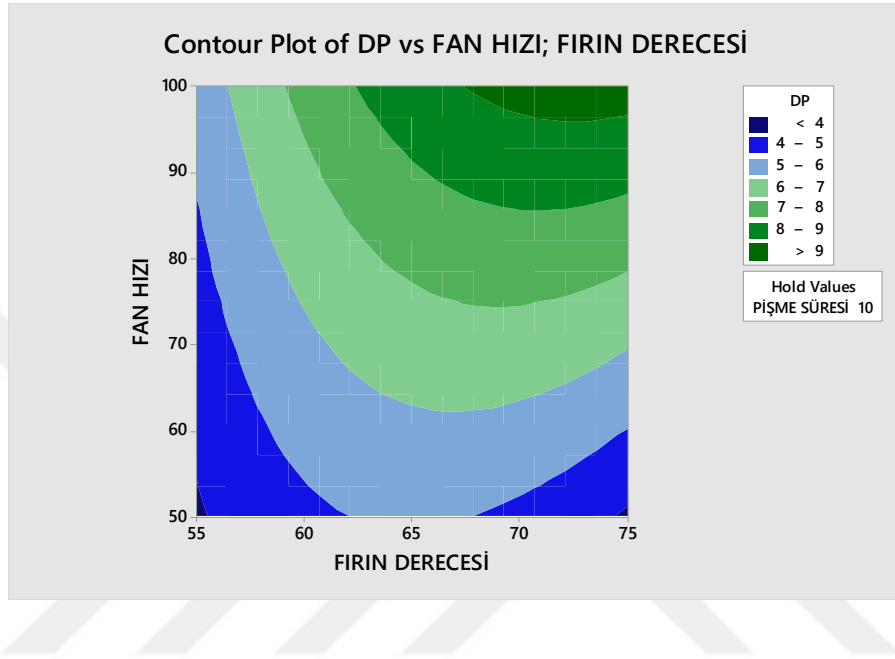
Şekil 19. Duyusal Puan Değeri İçin Pişme Süresi Ve Fan Hızı Kontur Grafiği

Duyusal puan için fan hızı sabit tutulduğunda pişirme süresi ve fırın derecesi etkilerinin incelenmesi şekil 20'ye göre eyer nokta yapısı duran noktanın deneysel bölgede yer aldığını ve etkileşimin olduğunu göstermektedir. Fırın derecesinin yükselmesi duyusal puan değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 20. Duyusal Puan Değeri İçin Pişme Süresi Ve Fırın Derecesi Kontur Grafiği

Duyusal puan için pişme süresi sabit tutulduğunda fan hızı ve fırın derecesi etkilerinin incelenmesi şekil 21’de verilen kontur grafiğine göre fan hızının ve fırın derecesinin yüksek olduğu değerlerde duyuşsal puan seviyesinin yükseldiğı görölmektedir. Duyusal puan değeri­nin koyu yeşil renkli bölgede maksimum noktanın yer aldığına ilişkin izlenim oluşmaktadır.



Şekil 21. Duyusal Puan Değeri İçin Fırın Derecesi Ve Fan Hızı Kontur Grafiğı

4.3.3. Çok Yanıtlı Optimizasyon

Ele alınan problemin çok yanıtlı çözümü için fonksiyonların birleştirilerek tek bir fonksiyonla açıklanması için çekicilik fonksiyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Çekicilik fonksiyonunun optimizasyonunda deney tasarımı ekibini görüşleri alınarak her iki karakteristiğın eşit önemi sahip olması görüşü dikkate alınmıştır. Ele alınan parametrelerin en alt ve en üst değeri­leri yanıt optimizasyonu, çizelge 19’da verilmektedir.

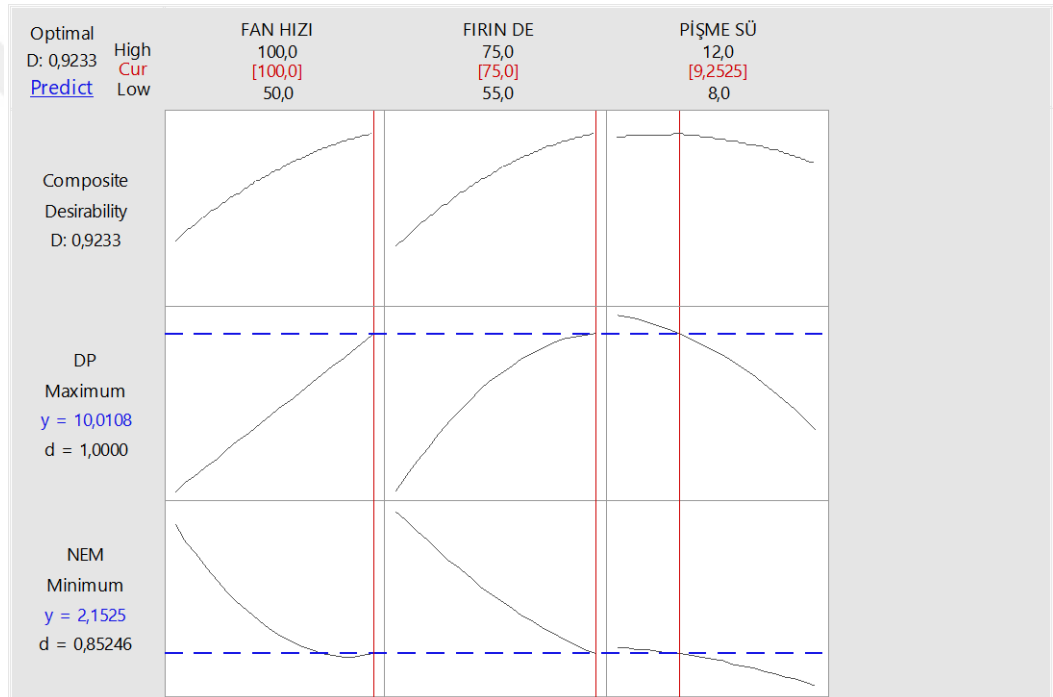
Çizelge 19. Çok Yanıtlı Optimizasyon

Yanıt	Amaç	En Düşük	Hedef	En Yüksek	Ağırlık	Önem
Dp	Maximum	2	10,0		1	1
Nem	Minimum		1,4	6,5	1	1

Çizelge 20. Çözüm

Çözüm	Fan Hızı	Fırın Derecesi	Pişme Süresi	DP Uygunluk Değeri	Nem Uygunluk Değeri	Bütünsel Çekicilik
1	100	75	9,25253	10,0108	2,15246	0,923287

Çekicilik fonksiyonu kullanımıyla elde edilen toplam çekicilik değeri D^* (X) = 0,9233 olmuştur. Duyusal puan için elde edilen bireysel çekicilik değeri 1 iken nem için elde edilen bireysel çekicilik değeri 0,85246 olmuştur.



Şekil 22. Optimizasyon grafiği

Parametreler için en iyi çözüm fan hızı 100, fırın derecesi 75, pişirme süresi 9,25 saat olarak elde edilmiştir. Tahmin değerleri duyusal puan için 10,01, nem için 2,15 olarak bulunmuştur. Elde edilen çözüm ve tahmin değerleri çizelge 21’de verilmektedir.

Çizelge 21. Çok Yanıtlı Tahminleme

PARAMETRE	AYARLAMA DEĞERİ
FAN HIZI	100
FIRIN DERECEŚİ	75
PİŞME SÜRESİ	9,25

Yanıt	Uygunluk Değeri	Uygunluk Değeri SH	95% GA	95% P ₁
DP	10,011	0,479	(9,050; 10,971)	(7,540; 12,482)
Nem	2,1525	0,0648	(2,0225; 2,2825)	(1,8294; 2,4755)

Elde edilen sonuçlara göre %95 güven aralığında, DP değeri (9,050; 10,971), alt ve üst sınırları arasında olması; Nem değeri (2,0225; 2,2825) alt ve üst sınırları arasında olması tahmin edilmektedir.

4.3.4. Doğrulama Deneyleri

Önerilen sonuçların performansının ölçülmesi için son aşama olarak doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Önerilen parametre düzeyleri ve başlangıç koşullardaki parametre düzeyleri ile deneyler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırılma sonuçları aşağıdaki çizelge 22’de gösterilmektedir.

Çizelge 22. Sonuçların Karşılaştırılması

	Öneri Koşulları		Başlangıç Koşulları		Farklar	
Tekrar	Nem	DP	Nem	DP	Nem	DP
1	2,1	10	3,3	7	-1,2	3
2	2,1	10	3,3	7	-1,2	3
3	2,2	10	3,5	7	-1,3	3
4	2,2	10	3,5	7	-1,3	3
Ortalama	2,15	10	3,4	7	-1,25	3
Standart Sapma	0,05	0	0,01	0		

Belirlenen parametre düzeylerinde deney yapıldığında beklenen değerler elde edilmiştir ve yapılan tekrarlarda dūřuk bir değişkenlikle iyileştirilme sağlayan olęum sonuğlarına ulaşılmıştır. Üretim parametrelerinde yapılan değişim ile karakteristiklerde deney tasarımı ęalıřması yapılmadan önceki duruma göre iyileşme sağlandığı sonucuna varılmıştır. Yapılan tekrarların ortalama sonucuna göre nem için 1,25 birim fark ve duyusal puan için 3 birim fark geręekleřmiřtir. Bu farklılık hem ürünlerin kalitesinin artırmasını sağlayacak hem de üretim maliyetini dūřürecektir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çilek, diğer meyvelere göre daha erken olgunlaşan meyve çeşidi olup, yüksek miktarda C vitamini, lif, demir, potasyum ve antioksidanlar içermektedir. Çilek ürününün yararları arasında yüksek miktarda C vitaminin bulunması, antioksidan özellikleri ve düşük kalori olması sayılabilir. Çilekler tüketici tarafından taze, kurutulmuş, dondurulmuş, reçeli, kompostosu, jölesi, tatlısı, dondurması ve likörü yapılarak tüketilmektedir. Çilek meyvesinin diğer meyve çeşitlerine göre raf ömrü kısa olmasından dolayı, farklı kurutma sistemleri ile raf ömrü uzatılarak muhafaza edilmekte ve tüketiciye sunulmaktadır. Kurutma yönteminde, besin değerleri, tat, renk ve aromasının korunması ile tüketime hazır olması piyasada gün geçtikçe talebi de artmaktadır.

Kurutma, nemli ürünlerin içerisinde bulunan sıvının oranını azaltarak, kuru hale getirilmesi işlemidir. Genelde gıda ürünleri, tarım ve ilaç gibi sektörlerde kurutma işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda sektöründe kurutma işlemi gıdaların raf ömrünü uzatmak, lezzet ve aroma özelliklerini korumak, depolanabilirliğini artırmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

Kurutma işleminin, doğal ve yapay kurutma yöntemleri bulunmaktadır. Doğal kurutma yöntemleri açık hava da güneş altında kurutma olarak bilinmekte iken, yapay kurutma yöntemleri ise kapalı ortamlarda, kontrol altında ürünlerin sıvı oranını istenilen orana getirmek ve bu sırada ürünlerin besin değerlerini daha az kaybetmesini sağlamak ve kısa sürede hızlı bir şekilde kurutma işlemini gerçekleştirebilen yöntemdir. Yapay kurutma yöntemi farklı teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar: Güneşte kurutma, dondurarak kurutma, mikrodalga ile kurutma, patlatmalı puf kurutma ve jeotermal enerji ile kurutma şeklindedir.

Kurutma tekniklerinin yatırım maliyetleri doğal kurutma yöntemlerine göre daha fazla olsa da açık havada güneşte kurutmaya göre homojen, hijyenik, besin değerlerin çok kaybetmeden kısa sürede kurutarak istenilen nem oranında kurutma

gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Yapay kurutma tekniklerinin yatırım maliyetleri yüksektir ve kurutma esnasında kullanılan fosil yakıtlar da kurutulmuş ürünlerin maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle kurutma teknikleri arasında en avantajlı olanı jeotermal enerji ile kurutma yöntemidir. Jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynağı olduğundan dolayı fosil yakıtların kullanımından ekonomik olarak daha uygun koşullarda üretim sağlanmaktadır. Aynı zamanda ülkenin dışa bağımlılığını azaltarak ekonomiye katkı sunmaktadır. Ayrıca dört mevsimde de kurutma işlemi yapılabilir.

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu araştırma çalışması, Balıkesir İlinin Sındırgı İlçesinde bulunan BALKURU sebze ve meyve kurutma işletmesinde jeotermal enerji ile çilek meyvelerinin kurutulması esnasında oluşan nem oranı, renk, tat vb. gibi duyuşal değler gözlemlenmiş ve kurutulmuş çileklerin üretim parametreleri belirlenmiştir.

Deney çalışmasının ana amacı ilgili yöneticilerin de görüşlerinin alınması sonucunda işletme müşterilerinin beklentilerinin göz önünde bulundurulmasıyla kurutulmuş çilek ürününün nem oranı düşürölmekte ve duyuşal özelliklerin iyileştirilmesi suretiyle kalitesini artırmak şeklinde belirlenmiştir.

Çalışmanın ana amacına ulaşabilmek için işletme çalışanları ile deney çalışmaları için deney tasarım ekibi oluşturulmuştur. Deneyin planlanması ve kalite parametrelerin belirlenmesi için deney tasarımı ekibi ile yapılan toplantı sonucunda çalışmada çileklerin kurutulmasında kalite parametreleri belirlenmiştir. İncelenen çilek ürününde 3 adet kontrol faktörüne ilişkin etkiler ortaya konmuştur. Kurutmada kontrol edilebilen bağımlı değişkenler, yani faktörler fan hızı, fırın derecesi ve pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerin minimum, orta ve maksimum değleri sırasıyla fan hızı 50, 75, 100; fırın derecesi 55, 65, 75, pişme süresi 8, 10 12 olarak işletmeden alınan veriler ile belirlenmiş ve Box-Behnken deney tasarımına göre deney çalışması yapılmıştır.

Deneylerin sonucunda çilek ürününün kurutulmasında fan hızı, fırın derecesi verilerin etkilerinin anlamlı olduğı görölmektedir. Belirtilen amaçlar doğrultusunda

optimum değerler, yani parametreler için en iyi çözüm fan hızı 100, fırın derecesi 75, pişirme süresi 9,25 saat olarak elde edilmiştir. Tahmin değerleri duyuşal puan için 10,01; Nem için 2,15 olarak bulunmuştur.

5.2. Öneriler

Önerilen sonuçların performansının ölçülmesi için son aşama olarak doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan doğrulama deney sonuçları önerilen sonuçlar ile aynı değerler elde edilmiş olup, daha sonra önerilen parametre düzeyleri ve başlangıç koşullardaki parametre düzeyleri ile deneyler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırma sonucunda üretim parametrelerinde yapılan değişim ile karakteristiklerde deney tasarımı çalışması yapılmadan önceki duruma göre iyileşme sağlandığı sonucuna varılmıştır. Karşılaştırma neticesinde nem değerlerinin başlangıç değerlerine göre ortalama 1,25 birim oranında azalma, duyuşal puan değerleri için ortalama 3 birim arttığı görölmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar jeotermal enerji ile kurutma işlemlerinde kurutma parametrelerinin belirlenmesinde yanıt yüzeyi yöntemlerinin kullanımın yararlı sonuçlar ortaya koyabileceğini göstermektedir. Uygulama işletmesinin farklı ürünleri için ve bu yöntemleri kullanacak farklı işletmelerin yapacağı çalışmalarda kullanımı önerilebilmektedir. Optimum koşullarda yapılacak üretimler hem maliyetlerin düşürölmesinde katkı sağlayacak hem de ürün kalitesinin artırılmasında etkili olacaktır.

KAYNAKÇA

- Adak, N., Heybeli, N., and Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109-116.
- Alper, E. C. (2019). *Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli ve ekonomik analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Andritsos, N., Dalampakis, P., and Kolios, N. (2003). Use of Geothermal energy for tomato drying. *GHC Bulletin*, 9-13.
- Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç. (2001). Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli. *Jeotermal Enerji Semineri*, (s. 21-28).
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., and Lyons, T. J. (2014). Strawberry As a Functional Food: An Evidence- Based Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (6), 790-806.
- Başak, H., Madakbaş, S. Y., and Gürdal, G. (2014). Feasibility of vegetable drying technic by geothermal heating at city of kirsehir. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1, 590-595.
- Boyacı, S., Boyacı, S., ve Gürdal, G. (2018). Kırşehir ilinde jeotermal enerji ile sebze - meyve kurutma tesisinin mevcut durumu ve geliştirilme olanaklarının belirlenmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 377-384.
- Cankurtaran, E. (2018). *Güneş enerjili kurutma sisteminde çileğin kurutma karakteristiğinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yozgat: Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Chen, Q., Li, Z., Bi, J., Zhou, L., Yi, J., and Wu, X. (2017). Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 178-184.
- Çakmak, N. (2019). *Çilek Meyvesinin kurutulmasında farklı kurutma yöntemlerinin kurutma performansı ve kalite üzerine etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tokat: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çebi, A. (2022). *Biyodizel atıksuyunun asidifikasyon prosesini takip eden elektro-aktif persülfat oksidasyonu ile artımı: Box-Behnken tasarımı kullanılarak proses*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

- Dadalı, G. (2007). *Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Demir, L. (2004). *İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Demiray, E. (2009). *Kurutma işleminde domatesin likopen, β -karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Durmuş, A., Karaköse, E., ve Dağlı, A. (2019). Türkiye'nin Jeotermal Enerjide Mevcut Durumu ve Potansiyeli. *3 rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 4 (1), 482-485.
- Dümenci, N. A. (2018). *Endüstriyel arıtma çamurlarının Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi kullanılarak kompostlaştırılması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elbaş, Ş. (2018). *Nanoakışkanlı mini kanallarda optimum tasarım parametrelerinin yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- El-Beltagy, A., Gamea, G., and Amer Essa, A. (2007). Solar drying characteristics of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 78 (2), 456-464.
- Gökayaz, L. (2019). *Çok rafli güneş enerjili kurutucu ile elma kurutma koşullarının optimizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tarsus: Tarsus Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü.
- Helvacı, H. U., Gökçen, G., Korel , F., ve Aydemir, L. Y. (2013). Bir jeotermal kurutucu tasarımı saha testleri ve kurutma sisteminin enerji analizi. *Jeotermal Enerji Semineri*, 345-358.
- Karagüç, B. (2013). *Balıkesir ilinde jeotermal enerji potansiyeli ve ekonomik etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karakaplan, N. (2017). *Nane (Mentha spicata) bitkisinden uçucu yağ eldesi için optimum koşulların araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Karateşer, M. A. (2017). *Güneş enerjisi destekli mikrodalga bantlı kurutucuda turpun kurutma kinetiklerinin araştırılması ve modellenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Kaya, A. (2008). *Kurutmada ısı ve kütle transferinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Köprüalan, Ö., Bodruk, A., ve Ertekin, F. (2019). Meyve ve sebzelerin patlatmalı puf kurutma yöntemi ile kurutulması. *Akademik Gıda*, 17 (1), 81-88.
- Lund, J. W., Freeston, D. H., and Boyd, T. L. (2005). Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. *Geothermics*, 34, 691-727.
- Mendez-Lagunas, L., Rodriguez-Ramirez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., and Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 174-181.
- Olgun, N. (1989). *Güneş enerjisi ile sebze ve meyve kurutma teknikleri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Özgören, M., Köse, F., Aksoy, M. H., Canlı, E., Solmaz, Ö., Doğan, S., ve Yağmur, S. (2012). *Konya'da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilirlik araştırması*. Mevlana Kalkınma Ajansı: Konya:Konya Sanayi Odası.
- Sarı, T. (2005). *Kalite geliştirmede deney tasarımı metodunun kullanılması ve otomotiv sektöründe bir uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Savaşkan, M., Taptık, Y., ve Ürgen, M. (2004). Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu. *İTÜ dergisi*, 3 (6), 117-128.
- Stevanovic, S., Petrović, T. S., Marković, D., Milovančević, U., Stevanović, S., Urošević, T., and Kozarski, M. (2021). Changes of quality and free radical scavenging activity of strawberry and raspberry frozen under different conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (10), 1 - 12.
- Szadzinska, J., Kowalski, S., and Stasiak, M. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1065-1074.
- Şahin, C. (2016). *Düşük sıcaklıklı jeotermal sahalarda organik rankin çevrimi (ORC) ile elektrik enerjisi üretiminde Afyon jeotermal elektrik üretim A.Ş modellemesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Şimşek, Ş. (2015). Dünya'da ve Türkiye'de jeotermal gelişmeler. *III. Geothermal Resources Symposium Proceedings, Ankara, Turkey*, 1-17.
- Tamyerli, U. (2007). *Jeotermal enerjiden elektrik üretiminin irdelenmesi örnek çalışma: Kütahya – Simav jeotermal sahası*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Tan Erkoç, N. (2021). *Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi uygulanarak turuncgillerin antioksidan aktiviteleri için ekstraksiyon yönteminin optimizasyonu*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Ünivesitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

- Türkşen, Ö., and Ertunç, S. (2015). Optimization of saponification process in multi-response framework by using desirability function approach. *Saü Fen Bil Der*, 19 (2), 141-149.
- Xu, B., Chen, J., Tiliwia, E., Yan, W., Azam, S., Yuan, J., and Ma, H. (2021). Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound pretreatment on the vacuum freeze-drying process and quality attributes of the strawberry slices . *Ultrasonics Sonochemistry* , 78, 1-10.
- Zou, K., Teng, J., Huang, L., Dai, X., and Wei, B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT-Food Science and Technology*, 51, 253-259.

http-1:

<https://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Dunya-da-Jeotermal>

(Erişim tarihi: 14.03.2022)

http-2:

<https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-jeotermal-enerji.html>

(Erişim tarihi: 14.03.2022)

http-3:

<https://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Dunya-da-Jeotermal>

(Erişim tarihi: 01.03.2022)

http-4:

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>

(Erişim tarihi: 01.03.2022)

http-5:

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>

(Erişim tarihi: 02.03.2022)

EK-1. Model Oluşturulması**Box-Behnken Design****Design Summary**

Factors:	3	Replicates:	4
Base runs:	15	Total runs:	60
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Center points: 12

Design Table

Run	Blk	A	B	C
1	1	-1	-1	0
2	1	1	-1	0
3	1	-1	1	0
4	1	1	1	0
5	1	-1	0	-1
6	1	1	0	-1
7	1	-1	0	1
8	1	1	0	1
9	1	0	-1	-1
10	1	0	1	-1
11	1	0	-1	1
12	1	0	1	1
13	1	0	0	0
14	1	0	0	0
15	1	0	0	0
16	1	-1	-1	0
17	1	1	-1	0
18	1	-1	1	0
19	1	1	1	0
20	1	-1	0	-1
21	1	1	0	-1
22	1	-1	0	1
23	1	1	0	1

24	1	0	-1	-1
25	1	0	1	-1
26	1	0	-1	1
27	1	0	1	1
28	1	0	0	0
29	1	0	0	0
30	1	0	0	0
31	1	-1	-1	0
32	1	1	-1	0
33	1	-1	1	0
34	1	1	1	0
35	1	-1	0	-1
36	1	1	0	-1
37	1	-1	0	1
38	1	1	0	1
39	1	0	-1	-1
40	1	0	1	-1
41	1	0	-1	1
42	1	0	1	1
43	1	0	0	0
44	1	0	0	0
45	1	0	0	0
46	1	-1	-1	0
47	1	1	-1	0
48	1	-1	1	0
49	1	1	1	0
50	1	-1	0	-1
51	1	1	0	-1
52	1	-1	0	1
53	1	1	0	1
54	1	0	-1	-1
55	1	0	1	-1
56	1	0	-1	1
57	1	0	1	1
58	1	0	0	0
59	1	0	0	0
60	1	0	0	0

