

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAGUCHI YÖNTEMİ İLE HARNUPTAN ŞEKER
EKSTRAKSİYONUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Berkant ÖZEL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ufuk DURMAZ

Ocak 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAGUCHI YÖNTEMİ İLE HARNUPTAN ŞEKER
EKSTRAKSİYONUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Berkant ÖZEL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 14.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Berkant ÖZEL

14.01.2021

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma fırsatı veren, araştırmalarım ve lisans eğitimim süresince, bizi en doğru şekilde yönlendirip, hiçbir yardım ve desteği esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ufuk DURMAZ ve eğitim hayatım boyunca maddi manevi destek sunan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması.....	4
BÖLÜM 2.	
KÜTLE GEÇİŞİ	8
2.1. Difüzyon	8
2.2. Ekstraksiyon Tanımı	10
2.2.1. Sıvı-sıvı ekstraksiyonu	10
2.2.2. Katı-sıvı ekstraksiyonu.....	11
2.3. Kütle Geçişi ile Isı Geçişi Arasındaki Benzeşim	11
2.4. Aktivasyon Enerjisi ve Arrhenius Yaklaşımı	13
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Taguchi Metoduyla Parametrelerin İncelenmesi	15
3.2. Süre ve Batch Parametrelerinin Sabit Tutularak İncelenmesi	18
3.3. Deneylerin Yapılışı	19

3.3.1. Belirsizlik analizi	24
----------------------------------	----

BÖLÜM 4.

DENEYSEL BULGULAR	26
4.1. Taguchi Metodu ile Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	26
4.2. Süre ve Batch Sayısının Sabit Tutulması İle İlgili Deney Sonuçları..	28
4.2.1. Su miktarının ekstraksiyona etkisi.....	30
4.2.2. Sıcaklığın ekstraksiyona etkisi.....	31
4.2.3. Ekstraksiyonda sıcaklık ve su miktarı arasındaki ilişki	34

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR.....	36
EKLER	38
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\dot{m}$	: Kütlesel debi [kg/s]
ΔT	: Sıcaklık farkı [°C]
°C	: Santigrat sıcaklık ölçeği [°C]
g	: Gram [g]
m	: Metre [m]
w	: Hata oranı [-]
W_R	: Toplam hata oranı [-]
S/N	: Sinyal/Gürültü oranı [-]
E_a	: Aktivasyon enerjisi [J/mol]
R	: Gaz sabiti [J/molK]
A	: Frekans faktörü [-]
T	: Sıcaklık [Kelvin, °C]

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Olgunlaşmamış (solda) ve olgunlaşmış (sağda) harnup meyvesi	2
Şekil 1.2. Deneylerde kullanılan harnup meyvesi	2
Şekil 2.1. Gazlarda difüzyon	9
Şekil 2.2. Membran yüzeyden sıvı partikülün difüzyonu	9
Şekil 3.1. Taguchi deneyinde kullanılan keçiboynuzu parçacıkları	16
Şekil 3.2. Orta boy keçiboynuzu parçacıkları	18
Şekil 3.3. Deney adımları	20
Şekil 3.4. Batch sistem	20
Şekil 3.5. Deneyde ekstraksiyon işleminin aşamaları	21
Şekil 3.6. Harnup-su karışımı (solda) ve strafor kutudaki durum (sağda)	22
Şekil 3.7. Şeker-su karışımlarının renk olarak farkı	22
Şekil 3.8. Islak posa	23
Şekil 3.9. Kurutma prosesi sonrasında kalan şeker	23
Şekil 3.10. Kurutulmuş posa	24
Şekil 4.1. Parametrelerin etkisi	28
Şekil 4.2. Su miktarının kütle oranına etkisi	31
Şekil 4.3. Arrhenius Eğrileri	33
Şekil 4.4. Sıcaklık ve su kütlesi arasındaki ilişki	34

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. L9 ortogonal dizi	16
Tablo 3.2. Taguchi metodu kullanılan deneylerin parametre ve seviyeleri	17
Tablo 3.3. Sure ve batch sayılarının sabit tutulduğu deneyler için parametre değerleri	19
Tablo 4.1. Taguchi metodu ile elde edilen deney sonuçları	26
Tablo 4.2. Deneysel kütle oranları için- S/N değerleri	27
Tablo 4.3. Parametrelerin etki derecesi	27
Tablo 4.4. Elde edilen deney sonuçları	30
Tablo 5.1. Deneylere ait şeker-su karışım kütleleri	38
Tablo 5.2. Deneylere ait ıslak posa kütleleri	40
Tablo 5.3. Deneyde elde edilen şeker kütleleri	42
Tablo 5.4. Deney sonunda kalan kuru posa kütleleri	42

ÖZET

Anahtar kelimeler: Arrhenius denklemi, ekstraksiyon, kütle geçişi.

Dünya üzerinde her geçen gün toplam nüfus sürekli artış göstermektedir. Bu artışın da etkisiyle geçtiğimiz son yüz yılda dünya üzerinde insanların meydana getirdiği çevre kirliliği sorunu ve küresel ısınma yüzünden insanlar günümüzde sağlıklı besinlere ulaşmada zorluk yaşamaktadır. Bu sorunların gün geçtikçe artması sebebiyle de doğanın korunması, çevre kirliliği ve sağlıklı yaşam üzerine araştırmalar yapmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Küresel ısınma konuları üzerinde yapılan çalışmaların önemi yakın gelecekte ciddi anlam kazanacaktır. Buna paralel olarak daha az su ve enerji harcayarak üretilen çevreci ürünlerin önemi de göz ardı edilemeyecek bir diğer husustur. Ülkemizde de yetişmekte olan ve içerdiği faydalı mineraller sayesinde insan vücuduna olumlu etkileri olan keçiboynuzu meyvesi ekonomik olarak değerlendirilmesi gereken başlıca çevreci ürünlerden biridir.

Türkiye’de keçiboynuzu antioksidan bakımından zengin olması ve bağışıklığı destekleyici etken maddelere sahip olması sebebiyle de pekmez üretimlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Meyvelerden pekmez üretimi için presleme yöntemi ve ekstraksiyon yöntemi gibi birçok yöntem bulunur. Üzüm ve dut gibi yumuşak meyvelerin pekmez üretimi için pres yöntemi tercih edilirken keçiboynuzu gibi sert meyvelerde ise ekstraksiyon yöntemine başvurulur. Ekstraksiyonun verimi, çalışma sıcaklığı, ekstraksiyon süresi ve çözücü miktarı gibi parametrelere göre değişkenlik gösterir.

Bu çalışmada amaç ekstraksiyon ile olan kütle geçişinde sıcaklığın ve çözücü miktarının ekstraksiyona etkisini belirlemektir. Çalışmada bu iki parametrenin ekstraksiyona etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Sıcaklığın kütle geçiş katsayısına olan etkisinde Arrhenius yaklaşımı kullanılmıştır. Keçiboynuzunun şeker ekstraksiyonu için aktivasyon enerjisi elde edilmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SUGAR EXTRACTION FROM CAROB BY TAGUCHI METHOD

SUMMARY

Keywords: Arrhenius equation, the extraction, mass transfer

The total population in the world is constantly increasing day by day. With the effect of this increment, people have been having difficulties in accessing healthy foods due to the environmental pollution problem caused by the people in the last hundred years and the negative effects on the world caused by global warming. As these problems increase day by day, it has become inevitable to conduct research on nature protection, environmental pollution, and healthy life. The importance of studies on global warming will gain serious meaning in the near future. In parallel with this, the importance of eco-friendly products produced with less water and energy is another matter that cannot be ignored. Carob fruit, which is growing in our country and has positive effects on the human body thanks to its beneficial minerals including antioxidants, is one of the main eco-friendly products that should be evaluated economically.

Besides the carob is rich in antioxidants, it has active substances having the immunity supportive and also the other mentioned factors. Thus, it has often been preferred on the production of carob molasses as well. There are many methods for the production of molasses from fruits like pressing method and extraction method. While the pressing method, which is frequently preferred in the molasses production of soft fruits such as grapes and mulberries, since it is not possible to apply on hard fruits such as carob, is preferred the extraction method. The efficiency of the extraction varies according to parameters such as operating temperature, extraction time and amount of solvent etc.

The aim of this study is to determine the effect of temperature and amount of solvent on extraction. In this study, the effect of these two parameters on extraction was investigated experimentally. The Arrhenius approximation was used for the effect of temperature on the mass transfer coefficient. The activation energy was obtained for the sugar extraction of the carob.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Latince ismi *Ceratonia siliqua* L. olan keçiboynuzu besleyici değeri yüksek bir meyvedir. 5000 yıldan fazla süredir bilinen keçiboynuzu, beyaz şekerin üretiminden önce çoğunlukla pastalarda ve tatlılarda kullanılmaktaydı. Türkiye’de keçiboynuzu Akdeniz’e kıyısı olan bölgelerde yetiştirilmektedir. Keçiboynuzu, astım hastalığına olumlu etkileri sebebiyle de genellikle keçiboynuzu pekmezi üretiminde ve diyet lifi üretimlerinde kullanılmaktadır [1].

Keçiboynuzu, ülkemizdeki yörelerde “Harnup”, “Boynuz” ve “Kerti” gibi farklı farklı isimlerle anılmaktadır. Keçiboynuzu ağacı zaman zaman peyzaj amaçlı da kullanılmaktadır. Ayrıca yapraklarının dayanıklı olması sebebiyle de ormanlarda yangın koruma hattı olarak kullanılabilir. Keçiboynuzu, içerdiği potasyum ve kalsiyum mineralleri bakımından zengin olması ve insan vücuduna faydalı olması sebebiyle sıklıkla pekmez olarak kullanılmaktadır. Bu meyvenin öğütülmesi ile de kakao ve un elde edilmektedir [2].

Keçiboynuzu ağacı, ilk 15 yıl boyunca hiç meyve vermeyen boyu yaklaşık 10 metreyi bulabilen bir ağaçtır. Yetişkin bir harnup ağacı yaklaşık 1 tona kadar meyve verebilmektedir. Harnup meyvesi ilk zamanlarda yeşil olurken olgunlaştıkça kahverengiye döner ve en olgun zamanlarında parlak kahverengi rengini alır. Harnup meyvesinin olgunlaşmamış ve olgun hali Şekil 1.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Olgunlaşmamış (solda) ve olgunlaşmış (sağda) harnup meyvesi [3][4].

Fabaceae familyasının Caesalpinioideae alt familyasına ait bir tür olan keçiboynuzu bitkisi (*Ceratonia siliqua* L.), 3 ila 10 m. boyunda olup Çalı veya ağaç formundadır. 3-5 çift yaprakçıklara sahip ve 30-50 mm. uzunluğunda, 30-40 mm. genişliğinde, derimsi yapraklı herdem yeşil bir bitki türüdür [5]. Meyvesi ise koyu kahverengi renginde olup boyutları 10-20 cm. uzunluğunda ve 1,5-2 cm. genişliğinde olmaktadır. Deneylerde kullanılan olgun haldeki keçiboynuzunun görüntüsü Şekil 1.2.'deki gibidir.



Şekil 1.2. Deneylerde kullanılan harnup meyvesi

Keçiboynuzu uzun yaşayan, kışın yapraklarını dökmeyen, yumuşak Akdeniz iklimine sahip habitatlarda büyüyen ve sıcak iklim seven bir ağaçtır. Subtropikal ve ılıman bölgelerde iyi yetişir. Ayrıca sıcak ve nemli kıyı bölgelerine tolerans gösterir. Portakal ağaçlarına benzer sıcaklık isteğine sahiptir. Fakat keçiboynuzu portakala göre daha fakir topraklara dayanır ve daha az su ihtiyacı vardır. Keçiboynuzu Akdeniz vejetasyonunun önemli bir üyesidir. Geleneksel olarak aşılınmış keçiboynuzu ağaçları, birçok üretici ülkenin tarım sisteminde, zeytin, üzüm, badem ve arpa ile birlikte yetiştirilmektedir. Keçiboynuzu meyveleri, şekerli lifleri ile çiftlik hayvanlarının yemine katkı maddesi olarak, çocuklar tarafından çerez olarak, ya da kıtlık zamanlarında insanlar tarafından yiyecek olarak tüketilmiştir [6].

Keçiboynuzunun meyve ve tohumu farklı farklı birçok alanda kullanılmaktadır. Meyvesinin %90'ı etli kısım olup %10'u ise tohumdur. Etli kısım yaklaşık olarak %48-56 oranında şeker içermektedir. Yüksek oranda potasyum, kalsiyum, magnezyum içeren ve kalp-damar sistemine olumlu etkisi olan tanen adında yaklaşık %16 oranda polifenol mevcuttur. Bu gibi özellikleri sebebiyle de endüstriyel hammadde olarak pastacılık sektöründe, kıvam arttırıcı olarak dondurma sektöründe, pekmez olarak sofralardaki tüketimlerde kullanılır. Ayrıca posası da hayvan yemi olarak birçok yerde değerlendirilmektedir. Keçiboynuzunun tohumu ise endüstriyel kullanımda çok önemli bir yeredir. Tohum, yaklaşık olarak %30-33 oranında kabuk, %42-46 oranında endosperm ve %23-25 oranında embriyo içermektedir. Tohumun kabuk kısmı ise antioksidan bir etkiye sahiptir. Endüstride endosperm kısmının öğütülüp işlemiden geçirilmesi ile keçiboynuzu gamı oluşturulup çeşitli gıda maddelerinin üretiminde kıvam arttırıcı bir etki vermesi sebebiyle de kullanılabilir [7].

Yunanca 'da keration olarak anılmakta olan keçiboynuzu meyvesinin tohumu yüzyıllar boyunca elmas gibi çok değerli mücevherleri ölçmek için de kullanılmıştır. Keçiboynuzunun çekirdeğinin ağırlığı 0,2 gramdır. Keçiboynuzu çekirdeği meyve kuruduktan sonra son ağırlığını aldığı ve katı olması nedeniyle de içine su alma olasılığı çok düşüktür. Bu sebeple elmas gibi değerli eşyaların ölçümünde keçiboynuzunun çekirdeği kullanılmıştır. Karat denilen ölçü de adını buradan almıştır.

Bunlara ek olarak ise “İki dirhem bir çekirdek” diye bir deyim de vardır. Hesaba göre bir dirhem dört çekirdeğe denk gelmektedir. İki dirhem de sekiz çekirdeğe denktir. Eski devirlerde mücevher satıcısı, iki dirhemlik değerli bir taşı satarken, müşteri hatırlı biriyse, hassas terazinin kefesine bir çekirdek daha koyardı. Böylelikle alıcının aldığı değerli parça, iki dirhemden fazla çekirdi. İki dirhem bir çekirdek buradan gelmektedir [8].

1.1. Literatür Araştırması

Literatürde keçiyoynuzu yani harnup meyvesinin kullanıldığı birçok araştırma ve çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında Hidroksimetil Furfural (HMF) oluşumu, ekstraksiyon ve sıvı şeker üretimi gibi konular incelenmiştir. Bunlardan bazılarına aşağıda yer verilmiştir.

N. Başak Özhan, depolama süresince olan keçiyoynuzu pekmezinin enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının kinetiğini incelemiştir. Keçiyoynuzu pekmezinin esmerleşme reaksiyonu 4 farklı sınıf için araştırılmıştır. Araştırmada depolama sonucunda su aktivitesinde ve briks değerlerinde bir değişiklik gözlenmezken, asitlik değerleri 25°C, 35°C ve 45°C'de azalmıştır. HMF'nin reaksiyon hızlarının ve esmerleşme reaksiyonlarının sıcaklıkla birlikte arttığı belirtilmektedir [9].

S. Khatib ve J. Vaya, keçiyoynuzu insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Keçiyoynuzu küspesinin çözünür lifler açısından zengin olduğu ve hiperkolesterolemi hastalarında total ve LDL kolesterolü azaltma kabiliyetine sahip olduğu belirlenmiştir [10].

A. Mulet ve ark., keçiyoynuzunun ekstraksiyonunda tane büyüklüğünün önemini araştırmıştır. Ekstraksiyonda küçük tane boyutlu keçiyoynuzu kullanımında süre ve sıcaklığın etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür [11].

İ. Turhan ve ark., toplam kütle geçiş katsayısı ve toplam fenolik bileşenlerin keçiyoynuzu ekstraksiyonu ile çözünebilir miktarını belirlemiştir. Proses sıcaklığının

etkinliği, Arrhenius denklemi kullanılarak ifade edilmiştir. Aktivasyon enerjisi, çözüner kütle ve toplam fenolik bileşenlerin difüzyonu için 5,84 ve $0,072 \times 10^{-3}$ kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise daha yüksek konsantrasyonlar elde edilmiştir. Yüksek sıcaklığa sahip olmasına rağmen, HMF oluşumuna neden olmadığı da belirtilmiştir [12].

F. şenay, keçiboynuzundan sıvı şeker üretimi için optimum ekstraksiyon değerini ve açıklama koşullarını incelemiştir. Su miktarının, ekstraksiyon sıcaklığının, parçacık büyüklüğünün, karışım ve preslemenin verim üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Titrasyon asitliği, pH değerı, toplam kuru madde ve nem miktarı da incelenmiştir. En yüksek verim, 90 ° C'de 1: 4 su oranında, küçük parçacık boyutunda ve 3 saatte elde edilmiştir. Ekstraksiyon işleminde karıştırma ve presleme uygulanmıştır [13].

O. Demirtaş, keçiboynuzu çekirdeğinden elde edilen keçiboynuzu gamının üretiminin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde çalışmıştır. Keçiboynuzu gamının üretimi için, bir saat boyunca 75 ° C'de çeşitli çözeltilerde tutulmuş ve yıkanmıştır. Daha sonra bir gün boyunca 30 ° C'de kurutulmuş ve bir değirmende öğütölmüştür. Keçiboynuzu kabuğunun çıkarılması için HCl, H₂SO₄ ve NaOH gibi çeşitli bileşikler kullanılmıştır. Bunun bir sonucu olarak, nem, protein, asit içinde çözünmeyen madde ve keçiboynuzu gamının viskozite değerleri karşılaştırılmıştır. En yüksek viskozite, HCl 'den elde edilmiştir. Ayrıca bu kimyasalların olumsuz etkileri de karşılaştırılmıştır [14].

Mustafa Yalçın Yılmaz'ın bir çalışmasında ise keçiboynuzundan bulanıklığı giderilmiş şeker grubu elde edilmeye çalışılmıştır. Keçiboynuzunun çekirdekleri çıkartılmış olup farklı boyutlarda kesilmiştir. Farklı ekstraksiyon su oranlarında ve sıcaklıklarında çalışılıp durultma işlemi gerçekleştirilmiştir. Durultma işleminde kizelsoldan, bentonit, ve jelatin kullanılmıştır. Rengi ve bulanıklığı giderildikten sonra vakumlu evaporasyonda konsantre edilmiştir ve reolojik özellikleri belirlenmiştir [15].

Ünal Yurdagel ve İbrahim Teke'nin bir çalışmasında ise keçiboynuzu farklı boyutta, farklı sıcaklıkta ve sürede kavurma denemelerine tabi tutulmuştur. 3-6 mm boyutundaki keçiboynuzu parçalarının kavurma işlemine elverişli olduğu

bulunmuştur. 160 °C ve 30 dakika süreyle kavrulması sonucunda Hunterlab ölçümlerine göre en koyu renkte keçiboynuzu tozu elde edilmiştir [16].

İ. Turhan, keçiboynuzu miktarını ve çözücü akış hızını sabit tutmuştur. Daha sonra sıcaklığa bağlı olarak keçiboynuzu ekstraksiyonu yapmıştır. Deneyler sürekli ekstraksiyon ile 20 °C, 50 °C, 85 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Çözünebilir kuru madde artışı, fenolik bileşik difüzyonu ve 5-HMF oluşumu ekstraksiyonda belirlenmiştir. Titrasyon asitliği, ham lif içeriği, pH değeri ve toplam azotlu madde miktarı analiz edilmiştir. Arrhenius enerjisi ise 5,66 kJ/mol şeklinde hesaplanmıştır [17].

B. K. Tiwari, ekstraksiyon amacıyla kullanılan ve toprağa zararsız olan ultrasonik ekstraksiyon yöntemini araştırmıştır. Solvent kullanmadan ekstraksiyon verimini arttırdığı belirtilmiştir. Keçiboynuzu meyvesi için, ultrason destekli ekstraksiyon yönteminin şartları, 30 ila 50 °C, 30 ila 120 dakika arasında 40 kHz frekans, 45-297 W güç olarak belirlenmiştir [18].

Nedim Tetik ve Esra Yüksel 'in bir çalışmasında ise keçiboynuzunu ultrasonikasyonu ve 4 bağımsız değişken kullanılarak D-pinitol bileşiğinin ekstraksiyon koşullarının optimizasyonuna değinilmiştir. Bu değişkenlerin sıcaklık, ultrasonik güç, dilüsyon oranı ve zaman olduğu belirtilmiştir. Deneyler sonucunda, en yüksek D-pinitol konsantrasyonu 50 °C sıcaklıkta, 207 W ultrasonik güçte, 1:4 seyreltme hızında ve 120 dakika ekstraksiyon süresinde elde edilmiştir. Ultrason destekli ekstraksiyonun ekstraksiyon sırasında ultrasonik etki ile D-pinitol konsantrasyonunun artırılmasından dolayı geleneksel sıcak suya bir alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [19].

B. A. Sarvin ve arkadaşları, 17 şekerin ve şeker alkollerinin kozalaklardan izole edilmesi için ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi üzerinde çalışmıştır. Ekstraksiyon parametreleri olarak çözücüdeki metanol konsantrasyonu, ekstraksiyon süresi, bitki numunesi tipi ve sıcaklığı Taguchi metodu ile incelenmiştir. Optimum ekstraksiyon koşulları %30 MeOH konsantrasyonu, 30 dakika, bitki numunesi tip II ve 60 ° C olarak

elde edilmiştir. Önerilen optimum parametreler, çok çeşitli bitki türlerinde şekerlerin ve şeker alkollerinin elde edilmesi için açıklanmıştır [20].

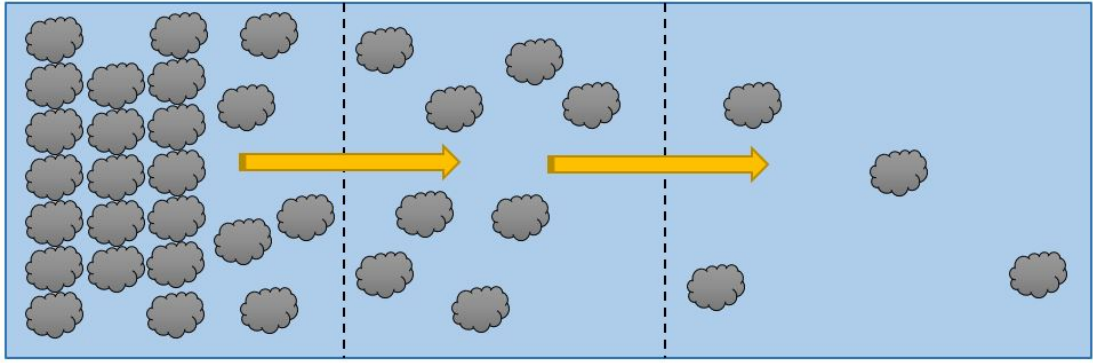
Bu çalışmada ise su miktarı, sıcaklık, süre, batch sayısı gibi parametrelerin ekstraksiyona etkisi incelenmiştir. Çalışmada iki farklı yöntemle deneyler yapılmıştır. İlk önce Taguchi metodu ile dört parametrenin kütle aktarımına etkisi incelenirken daha sonra sabit parametreler belirleyerek sıcaklık ve su miktarının etkisi daha detaylı olarak araştırılmıştır. Taguchi ile yapılan ilk yöntemde dört parametre için üç farklı seviye belirlenmiştir. Su miktarı için 100 (g), 200 (g), 250 (g) sıcaklık için 30 °C, 35 °C, 40 °C süre için 30 (dk.), 60 (dk.), 90 (dk.) batch sayısı için 4, 5, 6 adet olarak belirlenmiştir. Batch sayısının ve sürenin sabit tutularak yapılan diğer yöntemde de su miktarı ve sıcaklık için 3 seviye belirlenmiştir. Su miktarı 100 (g), 200 (g) ve 300 (g) olarak belirlenirken sıcaklık 30 °C, 40 °C, 50 °C olarak belirlenmiştir. 65 °C ve üstü sıcaklıklarda insan vücuduna zararlı olan HMF oluşumunun artmasının yanı sıra şeker karamelize olduğundan dolayı bu çalışmada 65 °C'den düşük sıcaklıklarda çalışılmıştır. Çalışmada, fazla kaynak ve enerji tüketiminden kaçınmak için daha sağlıklı ve çevreci bir ürün olan keçiboynuzu meyvesini kullanarak ekstraksiyon koşullarının şeker üretimine etkisini incelemek amaçlanmıştır. Deneylerde Arrhenius yaklaşımı ile sıcaklığın etkisi detaylı olarak da incelenmiştir.

BÖLÜM 2. KÜTLE GEÇİŞİ

Kütle geçişı, karışım içindeki maddelerin konsantrasyon gradyanından dolayı herhangi bir bölgeye rastgele aktarımıdır. Konsantrasyon gradyanı, konsantrasyon farkını minimize etmek veya konsantrasyonu eşitlemek için bileşeni hareket ettirme eğiliminde olmaktadır. Parfüm gibi kimyasal içerikli bir maddenin havaya salınması sonucunda moleküllerin havaya karışarak düşük konsantre bölgesine doğru ilerlemesi örnek olarak verilebilir. Kütle geçişı gaz fazının yanı sıra sıvı fazda da oluşabilir. Çay içerisine bir küp kesme şeker atılması halinde kütlenin çayın içinde zaman geçtikçe eriyerek konsantrasyon eşitlenene kadar yayılması da bu duruma örnek verilebilir.

2.1. Difüzyon

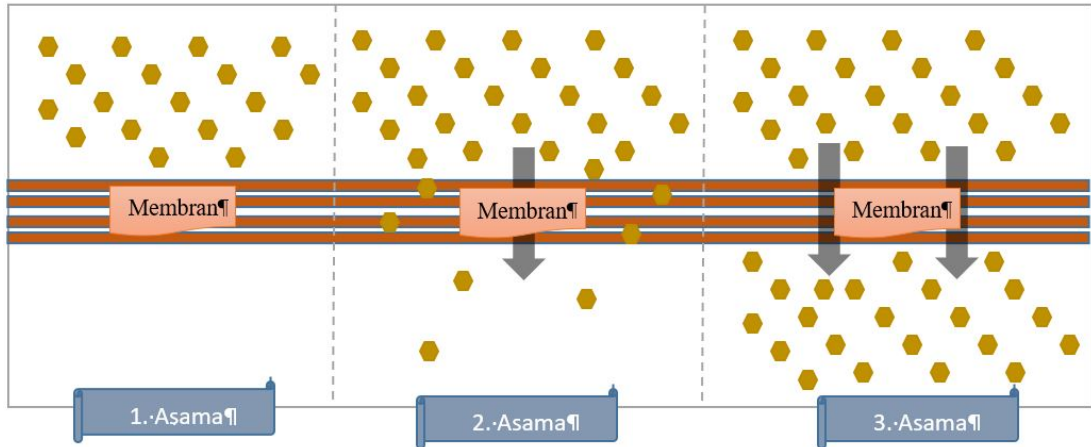
Kütle geçişı difüzyon ile gerçekleşebilmektedir. Difüzyon, maddelerin uzayda daha homojen düzende durmak ve daha kararlı olmayı istemesinden dolayı zaman geçtikçe bir bölgeden herhangi bir yöne doğru yayılımı şeklinde tanımlanabilir. Difüzyon, konsantrasyon farkından dolayı gerçekleştiğinden iki bölgenin konsantrasyonu eşitleninceye kadar devam etmektedir. Difüzyon olayının gerçekleşebilmesi için parçacık veya partiküllerin hareket edebilmesi gerekmektedir. Bu, difüzyonun katı fazındaki bir madde içindeki partiküllerin difüzyon etkisiyle yine katı madde içerisinde taşınmasının gerçekleşemeyeceği anlamına gelmektedir. Yani katıların içindeki partiküller yalnızca titreşim yapabilir ve bir noktadan başka bir noktaya taşınamazlar. Böylece difüzyon olgusunun katılarda olamayacağını ve bir sıvı veya gaz ile etkileşimde olması gerektiğini anlayabiliriz. Gazların difüzyonu için verilen örnek Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Gazlarda difüzyon

Gazlarda difüzyon oldukça hızlı gerçekleşebilmektedir. Çünkü partiküller serbest olarak çok hızlı hareket edebilmektedir. Gazlardaki difüzyon hareketi maddenin kinetik teorisi ve Graham Difüzyon Yasası ile açıklanabilir. Graham Difüzyon Yasası, birbirleriyle etkileşim esnasında tepkime vermeyen farklı iki gazın aynı ortamda karıştığında kinetik enerjilerinin birbirine eşit olabileceğini söylemektedir.

Sıvılarda moleküllerin yayılım hızları gazlara kıyasla daha küçüktür. Sıvılarda moleküller birbirlerine daha yakın olması sebebiyle moleküller birbirine daha sık çarpışacaktır. Bu da yayılımın daha yavaş olmasına sebebiyet verecektir. Şekil 2.2.'de membranlı yüzeyden sıvı partiküllerinin difüzyonu örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Membran yüzeyden sıvı partikülün difüzyonu

2.2. Ekstraksiyon Tanımı

Kelime anlamı olarak, “ekstraksiyon” terimi bir şeyi başka bir şeyden çıkarma fikrini aktarır [21]. Ekstraksiyon, iki ya da ikiden fazla bileşenden oluşan karışımlardaki istenilen bir maddeyi veya istenmeyen bileşenleri kullanılan çözücü vasıtasıyla ayırma işlemidir. Kaynaklarda, ayrılması gereken karışım sıvı fazlardaki bileşenlerden oluşuyorsa ‘sıvı-sıvı ekstraksiyon’ olarak açıklanırken katı fazdaki bir maddeden ayrılma işlemi gerçekleşecekse ‘katı-sıvı ekstraksiyon’ olduğu ifade edilmektedir.

2.2.1. Sıvı-sıvı ekstraksiyonu

Bir sıvı çözelti içindeki bileşenlerin yani çözünenlerin başka bir çözünmeyen sıvı (çözücü sıvı) ile etkileşim yoluyla ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Ekstraksiyon işlemi, ilk Romalılar tarafından çözücü olarak kurşun kullanılmasıyla sıvı haldeki bakırdan altın ve gümüşün ekstrakte edilmesiyle yaygınlaşmıştır [22]. Genellikle, çözücülerden biri su veya sulu bir karışımdır, diğeri polar olmayan bir organik sıvıdır. Tüm ekstraksiyon işlemlerinde olduğu gibi, sıvı-sıvı ekstraksiyonu bir karıştırma (temas etme) aşaması ve ardından bir faz ayırma aşaması içerir. Solvent seçimindeki her iki adımı ve çalışma modlarını dikkate almak önemlidir. Dolayısıyla, kuvvetli karıştırma ekstrakte edilebilir maddenin bir solventten diğerine geçişine elverişli olmakla birlikte, emülsiyonlar oluşturarak faz ayrılmasının kolaylığını da bozabilir.

Genellikle ekstraksiyon işlemi;

- a. Çok düşük miktarda çözünen madde bulunan bir bileşenin ayrılması istendiğinde,
- b. Çözelti içerisinde çözünmüş inorganik maddeler var ise,
- c. Kaynama veya erime noktaları birbirine çok yakın olan bileşenlerin ayrılmasında,
- d. Azeotrop oluşturan karışımların yani sıvı-sıvı bir karışımın, tek maddeymiş gibi kaynamaya başlayan karışımların ayrılması gibi durumlarda damıtma veya distilasyona göre tercih edilir.

2.2.2. Katı-sıvı ekstraksiyonu

Çözünen olarak kullanılan katı madde içerisindeki ekstrakte edilmesi veya dışarı alınması istenilen bir veya birden fazla bileşenin, çözücü kullanılarak ayrılması işlemidir. Katı-sıvı ekstraksiyonu, gıda endüstrisinde sıkça kullanılan bir proses olup mutfaklarda bile kullanılabilen basit bir işlemdir. Örneğin; şeker pancarından şeker elde etmede, soya ve keten tohumundan bitkisel yağ elde etmede kullanılırken mutfaklarda ise çay yapraklarından su yardımıyla çayı elde etmek gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada keçiboynuzundan şeker elde etmek için katı-sıvı ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraksiyon için belirlenen parametreler ilerleyen safhalarda bahsedilmiştir.

2.3. Kütle Geçişi ile Isı Geçişi Arasındaki Benzeşim

Kütle geçişini olgusunu anlayabilmek için denklemleri ısı geçişi denklemlerine benzetilerek durum daha basit hale getirilebilir. Isı geçişini kütle geçişi gibi düşünmek olayı daha basit hale dönüştürecektir. Bu şekilde düşünüldüğünde kütle geçişi problemlerini daha iyi kavrayabilmek ve daha kolay çözmek mümkün olacaktır [23].

Isı geçişine etkileyen faktörlerden biri sıcaklık farkı iken kütle geçişini etkileyen faktör konsantrasyon farkıdır. Sıcaklık farkı oluşması durumunda ısı konsantrasyonun az olduğu bölgelere doğru ısının geçişi söz konusu olur. Kütle geçişinde ise farklı konsantrasyon oluşması durumunda kütle düşük konsantrasyon bölgelerine doğru geçiş yapar.

Isının birkaç farklı yöntemle geçişini sağlayabiliriz. Bunlar iletim, taşınım ve ışıınım şeklinde olur. Kütle ile farkı ise ısı ışıınım yardımıyla geçiş olabilirken kütle ışıınım yapamaz. Böylelikle Fourier'in ısı iletim denklemini göz önünde bulundurursak ısının x yönündeki iletimi aşağıdaki (Denklem 2.1) gibidir.

$$Q_{\text{iletim}} = -k \times A \times \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Burada k ısı iletim katsayısını, A ısı geçiş yönündeki dik gelen alanı, dT/dx ise x yönündeki sıcaklık farkını ifade etmektedir. Kütle geçiş miktarına uyarlarsak sıcaklık yerine konsantrasyon farkı olacağından ötürü denklem dC/dx şeklinde değişecektir. Böylelikle eşitlik (Denklem 2.2);

$$\dot{m} = -D \times A \times \frac{dC}{dx} \quad (2.2)$$

Bu denklemde D terimi ise difüzyon katsayısı olmaktadır.

Isı geçişinde de bilindiği üzere yüzeylere bir akışkanın teması durumunda sıcaklık farkı bulunuyorsa ısıнын taşınımı gerçekleşir. Yani ısıнын geçişı, akışkan hareketine bağılı olarak değişebilir. Kütle geçişı de ısı geçişıyle arasında benzeşim olması sebebiyle kütlenin yüzeye yakın yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru bir yer değıştirmesi gerçekleşecektir. Isı taşınımını Newton'un soğuma kanununa göre ifade ettiğimizde (Denklem 2.3) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\dot{Q} = h \times A \times (T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

Burada “ h ” taşınım ile olan ısı geçiş katsayısı, “ A ” yüzey alanı ve $(T_s - T_\infty)$ ise sıcaklık farkını belirtmektedir. Benzer olarak kütle taşınım oranı ifade edilmek istendiğinde eşitlik (Denklem 2.4);

$$\dot{m} = h \times A \times (C_s - C_\infty) \quad (2.4)$$

Burada ise “ h ” taşınım ile olan kütle geçiş katsayısı, “ A ” yüzey alanı ve $(C_s - C_\infty)$ konsantrasyon farkını ifade etmektedir. Bu benzetim ile birlikte hem iletim ile hem de taşınım ile olan kütle geçişinin basit olarak hesaplanması yapılabilir.

2.4. Aktivasyon Enerjisi ve Arrhenius Yaklaşımı

Aktivasyon enerjisi, literatürde bir reaksiyonun başlayabilmesi için gereken eşik enerjisi olarak bahsedilmektedir. Bu aktivasyon enerjisi, reaksiyon hızının sıcaklık ile tam olarak nasıl değişime uğradığını ve ne düzeyde değiştiğini ifade etmektedir. Her reaksiyonun ise kendine özgü bir aktivasyon enerjisi bulunur. Aktivasyon enerjisi 1889 yılında Svante Arrhenius tarafından önerilen Arrhenius eşitliği sayesinde bulunabilir. Bu eşitlik aşağıda verildiği üzere reaksiyon hız sabiti, frekans faktörü, gaz sabiti ve mutlak sıcaklık gibi terimlerden oluşmaktadır.

$$k = A \times e^{\left(\frac{-E_a}{R \times T}\right)} \quad (2.5)$$

k: hız sabiti,

T: mutlak sıcaklık (Kelvin),

A: frekans faktörü,

E_a : Aktivasyon enerjisi,

R: Gaz sabitidir.

Bu denklem eksponansiyel olmayan formlarda da yazılabilir. Bu sayede grafiksel olarak yorumlanması daha uygun hale gelmektedir. Bunun için birden fazla sıcaklık değeri ile çalışma yapılması daha uygundur. Böylelikle denklemin doğal logaritması alındığında grafik daha lineer hale yani $y=mx+n$ formuna dönüşür. Bu da grafiğin yorumlamasını daha pratik ve doğru hale getirir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyler için olgun keçi boynuzu temini sağlanmış olup ekstraksiyon işlemi için orta ebatlarda eş parçalara ayrılmıştır. Ekstraksiyonu etkileyen birkaç farklı parametre bulunmaktadır. Bu deneylerde şeker ekstraksiyonunu etkileyen toplam 6 parametre olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki gibidir.

- a. Çözücü tipi
- b. Çözücü miktarı
- c. Çalışma sıcaklığı
- d. Süre
- e. Batch Sayısı
- f. Tane Boyutu

Yukarıdaki parametrelere bağlı olarak iki farklı deney serisi yapılmıştır. İki farklı yöntemle yapılan deneylerin hepsinde katı-sıvı ekstraksiyon yöntemiyle batch sistemi kullanılarak deney verileri elde edilmiştir. Bunlardan ilki Taguchi Metodu kullanılarak yapılmıştır. Tane boyutları değişmeyen çok ufak boyutlardaki keçi boynuzu parçaları ile çözücü miktarı, çalışma sıcaklığı, süre ve batch sayısı gibi parametreler için 3 farklı seviye belirleyerek bu belirlenen parametrelerin kütle değişimine olan etkisi incelenmiştir. Diğer deney serisinde ise sabit bir batch sayısı belirlenip tüm batchlerde aynı sürede aynı çözücü tipi ile çalışılmıştır.

Bu iki tip yöntem için keçi boynuzu meyvesi bahsedildiği üzere eş parçalar haline getirilip deneye hazırlandıktan sonra parametrelerin seviyeleri tespit edilip etkisinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler iki ayrı başlıkta incelenmiştir.

3.1. Taguchi Metoduyla Parametrelerin İncelenmesi

Günümüzde üretimde ve hatta gündelik hayatımızda bile sahip olduğumuz ürün veya eşyaları sürekli olarak geliştirmek ve daha optimum duruma getirmek neredeyse zorunlu bir hale gelmiştir. Özellikle de firmalar rekabetçi pazar koşullarında müşteri memnuniyetini arttırmak, kaliteyi geliştirmek ve maliyeti düşürmek için kıyasıya bir yarış içerisinde. Bu sebeple de araştırmacılar beklentiyi sağlamak için ürünleri sayısız deneysel çalışma ve testlerden geçirmek durumunda kalmaktadır. Ürünlerin kalitesini arttırmak ve daha birçok mühendislik alanında kullanmak amacıyla sürekli artan deneysel çalışma gücünü hafifletmek için Genichi Taguchi tarafından istatistiksel bir metot geliştirilmiştir.

Taguchi metodunda ilk önce sistem tasarımı yapılır. Sistem tasarımı yapıldıktan sonra genellikle en kritik olan yer parametre tasarımıdır. Bu noktada parametre tasarımındaki amaç belirlenen parametreler için farklı seviyelerinde en dayanıklı ve mali açıdan en uygununu seçmektir. Taguchi metodu ile hem daha dayanıklı ve/veya performanslı hem de maliyet olarak daha uygun olan kombinasyonu belirlemek daha kolay ve daha kısa sürede olacaktır. Bu hesaplamalar için parametre sayısına ve seviyelere göre matematiksel bir dizi seçilir.

Taguchi ile yapılması gereken deneylerde çözücü miktarı, sıcaklık, süre ve batch sayısının değişiminin kütle geçişine olan davranışı incelenmiştir. 4 adet parametre için 3 farklı seviye kullanılmıştır. Toplamda yapılması gereken 81 adet deney vardır. Fakat Taguchi Metodu sayesinde L9 ortogonal dizi ile 9 adet deneyin 3 kere tekrarı yapılarak bu 4 farklı parametrenin 3 farklı seviyesi için kütle geçişine olan etkisi incelenebilmektedir. Kütle geçişini daha yüksek tutmak için de tane boyutları olabildiğince ufak tutulmuş ve eş parçalara bölünmüştür.

Taguchi ile yapılan deneylerde kullanılan ufak boyutlardaki keçi boynuzu parçacıkları aşağıdaki Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Taguchi deneyinde kullanılan keçi boynuzu parçacıkları

Taguchi ile yapılması gereken deneylerde 4 parametrenin (çözücü miktarı, çalışma sıcaklığı, süre ve batch sayısı) 3 adet farklı seviyesi için L9 ortogonal dizi seçilmiştir. L9 ortogonal dizi aşağıdaki Tablo 3.1.'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.1. L9 ortogonal dizi

Deney No	Su	Sıcaklık	Süre	Batch Sayısı
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Ekstraksiyonla keçi boynuzundan çözücüye geçen şekerin tespiti için L9 ortogonal diziyle oluşturulan deneyde Taguchi metodu ile yapılması gereken deney parametrelerinin seviyeleri aşağıdaki Tablo 3.2.'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Taguchi metodu kullanılan deneylerin parametre ve seviyeleri

Deney No	Su (g)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Batch Sayısı
1	100	30	30	4
2	100	35	60	5
3	100	40	90	6
4	200	30	60	6
5	200	35	90	4
6	200	40	30	5
7	250	30	90	5
8	250	35	30	6
9	250	40	60	4

Böylelikle Taguchi metodu uygulanarak yapılması gereken deneyler tespit edilmiştir.

Tüm deneysel veriler elde edildikten sonra Taguchi metodu ile S/N oranı denilen sinyal/gürültü oranları hesaplanması gereklidir. Bu oranlar 3 tip farklı durum için hesaplanabilir. Denklemlerde “n” deneylerdeki seviye sayısını, “y” deney sonuçlarını, “s” ise sonuçların standart sapmasını ifade etmektedir.

En yüksek en iyi seçilmesi durumunda eşitlik (Denklem 3.1) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$S/N = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.1)$$

Nominal durumun seçilmesi halinde eşitlik (Denklem 3.2) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$S/N = 10 \times \log \left(\frac{y^{-2}}{s^2} \right) \quad (3.2)$$

En küçük en iyi durumun seçilmesi halinde eşitlik (Denklem 3.3) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right) \quad (3.3)$$

Belirlenen probleme göre bu üç adet denklem arasından biri seçilip S/N oranı hesabı yapılır. Elde edilen S/N oranlarına göre parametrelerin etki derecesi bulunur ve optimum kombinasyon belirlenir. Parametrelerin etkisini incelemek ve en yüksek şeker kütlesi için optimum değerleri tespit edebilmek amacıyla en yüksek en iyi durumunda kullanılan eşitlik ile S/N oranları hesaplanmıştır.

3.2. Süre ve Batch Parametrelerinin Sabit Tutularak İncelenmesi

Deneylerde kullanılan keçiboynuzu meyvesinden şeker elde edebilmek için keçiboynuzu meyvesini orta ebatlarda mümkün olabildiğince eş parçalar halinde kesilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Deneylerde kullanılan parçalara ayrılmış keçiboynuzu meyvesinin görüntüsü ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Orta boy keçiboynuzu parçacıkları

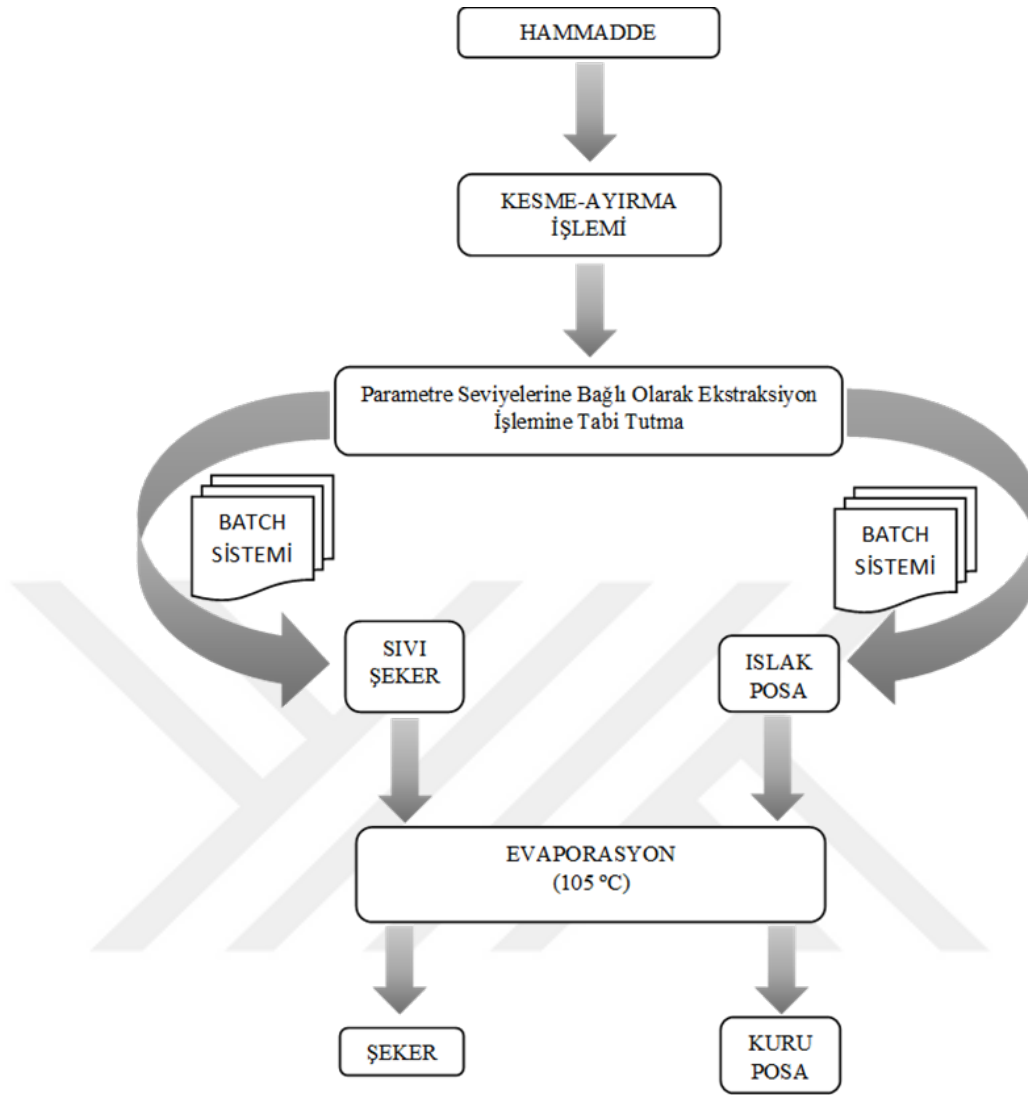
Süre ve batch sayısı gibi parametreler sabit tutularak çözücü miktarı ve çalışma sıcaklığı gibi parametrelerin ekstraksiyona olan etkisi bu yöntemle incelenmiştir. Deneylere başlamadan önce deney parametrelerinin seviyeleri belirlenmiştir. Taguchi deneylerinin sonuçlarına göre sabit bırakılacak parametrelerin seviyesi belirlenmiş olup sebebine sonraki başlıklarda değinilmiştir. Her bir deneyde süre 60 (dk.) ve batch sayısı 6 adet olarak belirlenirken çözücü tipi için su kullanılıp çözücü miktarı ve çalışma sıcaklığı için ise belirlenen seviyeler Tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Sure ve batch sayılarının sabit tutulduğu deneyler için parametre değerleri

Deney No	Su Miktarı (g)	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Batch Sayısı
1	100	30	60	6
2	100	40	60	6
3	100	50	60	6
4	200	30	60	6
5	200	40	60	6
6	200	50	60	6
7	300	30	60	6
8	300	40	60	6
9	300	50	60	6

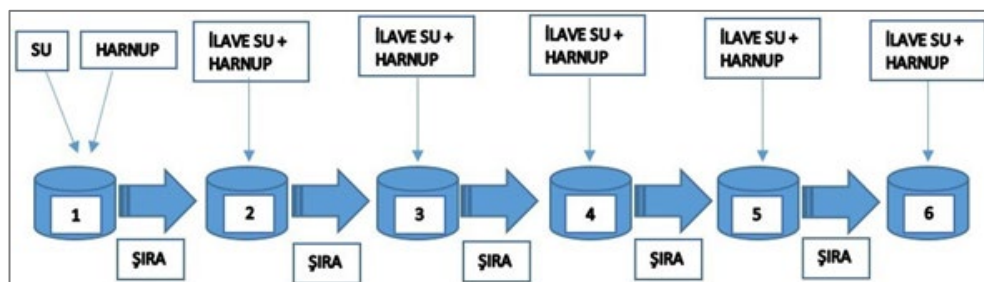
3.3. Deneylerin Yapılışı

Deney takibi için ekstraksiyondan önce ve ekstraksiyondan sonra takip edilmesi gereken adımlar aşağıdaki Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



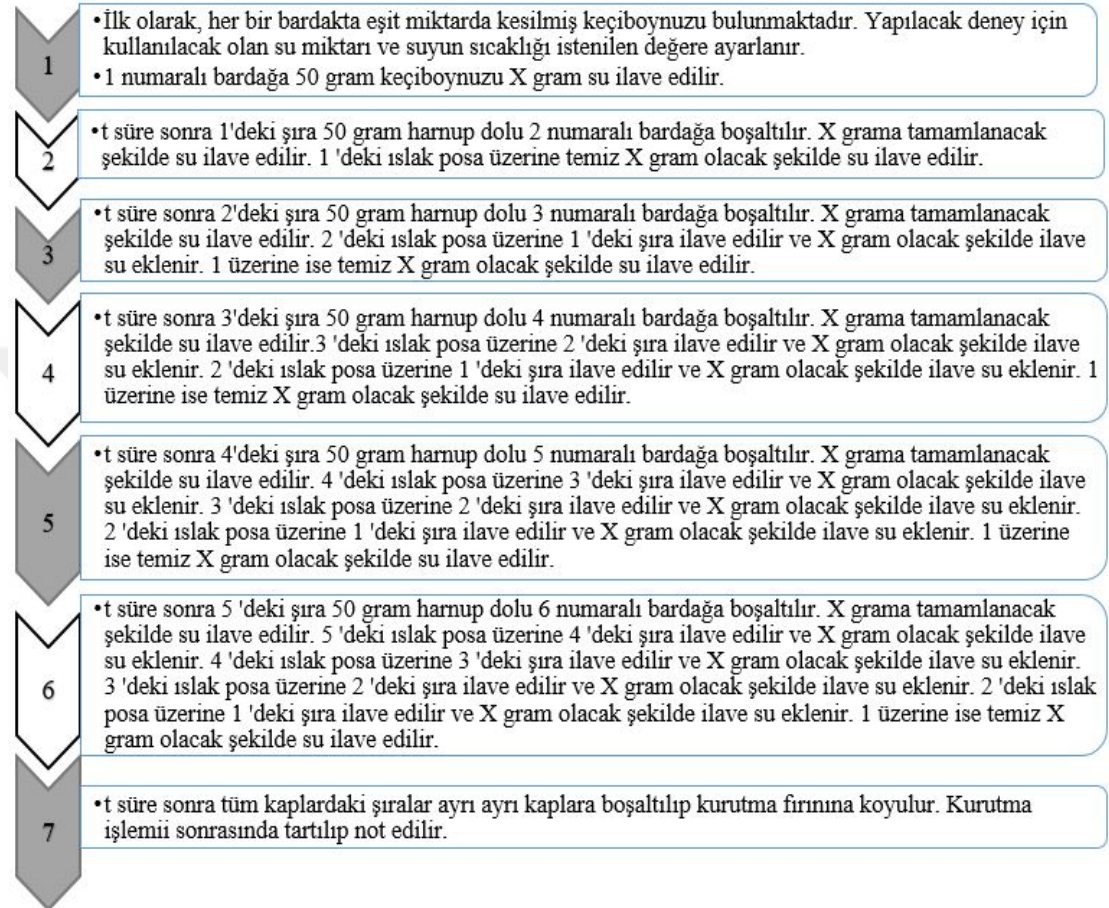
Şekil 3.3. Deney adımları

Deneylerde batch sistemi maksimum 6 batch olarak belirlendiğinden dolayı 6 adet termos bardak kullanılmıştır. 6 batch olan sistem için şema aşağıdaki Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Batch sistem

Deneyde ekstraksiyon işlemi esnasında yapılması gerekenler ve aşamalar Şekil 3.5.'de adım adım verilmiştir.



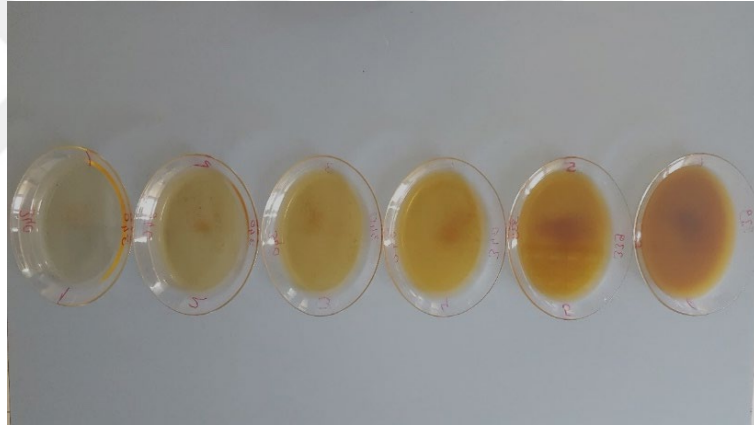
Şekil 3.5. Deneyde ekstraksiyon işleminin aşamaları

Öncelikle deneyler için belirlenen parametrelerin seviyelerine göre hangi sıcaklıkta ve hangi miktarda su kütlesiyle çalışılacaksa o miktarda suyun hazır hale getirilip sıcaklık ölçümünün kontrolünün ardından kesik keçiyoynuzları üzerine suyun aktarılması gereklidir. Sonraki aşamalarda ise deney Şekil 3.5.'deki gibi devam etmelidir. Dış ortam ile herhangi bir ısı farkı olmaması, termos bardak içerisindeki suyun sabit sıcaklıkta kalabilmesi ve sağlıklı bir deney sonucu elde etmek için bardaklar yalıtımlı strafor kutu içerisinde beklemeye bırakılmıştır. Deneye hazır haldeki karışım ve strafor içindeki durumu Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Harnup-su karışımı (solda) ve strafor kutudaki durum (sağda)

Yapılan deneylerin tamamlanmasıyla beraber kurutma prosesi uygulanmadan önce aşağıdaki Şekil 3.7.'de de görüldüğü üzere maksimum 6 adet batch yapılması durumunda şeker-su karışımları 1 numaradan 6 numaraya doğru koyulmaktadır.



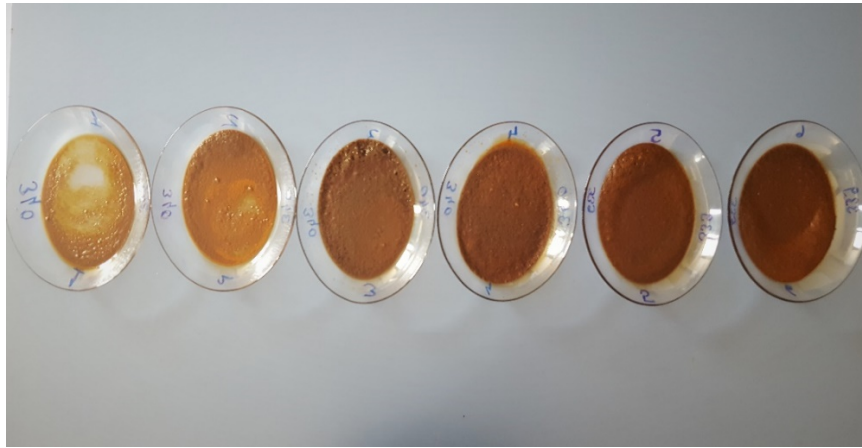
Şekil 3.7. Şeker-su karışımlarının renk olarak farkı

1.bardaktan çıkan şeker-su karışımının açık renkte olmasının sebebi, batch processing işlemi etkisiyle diğer bardaklara göre daha fazla posanın yıkanmasından kaynaklanmaktadır. 6.bardaktan çıkan şeker-su karışımı ise, tüm bardaklara adım adım aktarılması ve deney sırasında daha fazla süreye tabii olması nedeniyle keçi boynuzu kütlelerinden su, kapasitesinin alabildiği kadar şekeri almaya çalışmıştır. Ekstraksiyon işlemi tamamlandıktan sonra çıkan şeker-su karışımları tabaklara konularak kurutmaya bırakılmıştır. Şeker-su karışımlarının ayrı tabaklara aktarılmasından sonra geriye kalan ıslak posalar ise ayrı olarak kurutma prosesinden geçirilmiştir. Islak posalar Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Islak posa

Şeker-su karışımlarının kurutma süresi için gereken süre karışımların sahip olduğu su miktarlarına göre artma eğiliminde olacaktır. Uygun görülen belirli saat ve sıcaklıkta kurutma işlemi gerçekleştikten sonra ise tabakta kalan şekerlerin görünümü Şekil 3.9.'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Kurutma prosesi sonrasında kalan şeker

Deneyin sonucunda çıkan ıslak posalar da kurutmaya tabi tutulduktan sonra keçiboynuzunun içindeki suyun buharlaştığı, daha katı ve daha kuru olduğu Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Kurutulmuş posa

Kurutma prosesleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler şeker kütlesi ve kuru posa kütlesidir. Bu kütleler araştırılan parametre ve parametrelerin seviyelerine göre değişkenlik göstermektedir. Deneylerin sonucunda bu parametreler ve ölçülen şeker kütleleri incelenip kütle geçiş denklemi çıkartılmıştır.

3.3.1. Belirsizlik analizi

Deneyisel çalışmalar esnasında yapılan veya yapılabilecek olan hataların deneylerde ne kadarlık bir sapma oluşturabileceğini tespit etmek önemlidir. Bu sebeple belirsizlik analizi için çalışmada Kline-McClintock denklemine göre hesaplamalar yapılmıştır. Kline-McClintock yöntemine göre eşitlik (Denklem 3.4) aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.4)$$

Denklemde x_1, x_2, x_3 ölçümü etkileyen parametrelerini, w_1, w_2, w_3 ise hata oranlarını ifade ederken W_R toplam hata oranını ifade etmektedir.

Termometrenin yapısından dolayı verilen hata oranı $\pm 0,25$ °C'dir. Test ortamının sıcaklık ölçümündeki hata oranı $\pm 0,25$ °C'dir. Kurutma fırınındaki sıcaklık

ölçümündeki hata oranı $\pm 0,5$ °C'dir. Strafor kabın kapağının açılması ve odadaki havanın dalgalanması durumu gibi doğal yollardan oluşabilecek rastgele hataların oranı $\pm 0,6$ °C'dir.

Maksimum bağıl hata ise aşağıdaki eşitlik (Denklem 3.5) ile hesaplanmıştır.

$$W_R = \left[(0,25)^2 + (0,25)^2 + (0,5)^2 + (0,6)^2 \right]^{0.5} = \pm 0,857^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

Deneylerdeki maksimum mutlak hata $\pm 0,857$ °C olarak hesaplanmıştır. Deneysel veriler doğrultusunda oluşturulan denkleme (Denklem 3.5) sıcaklık parametresinden dolayı oluşabilecek toplam hata eklendiğinde maksimum 0,382 gram olmaktadır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL BULGULAR

Yapılan deneylerde bardaklardan çıkan şıra ve posa kütleleri farklılık göstermektedir. Deneylerdeki bu farklılık Şekil 3.7.'de görüldüğü üzere karışımın renklerinin değişiminden de anlaşılabilmektedir. Bu çalışmada yapılan tüm deneylerin sonuçları tablolar halinde verilip tek tek açıklanmıştır. Deney esnasında şeker-su karışımları ve posa kütle geçişini kontrol etmek için tartılıp not edilmiştir.

4.1. Taguchi Metodu ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Tüm deneylerin bitmesiyle elde edilen şeker kütleleri gram cinsinden Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Taguchi metodu ile elde edilen deney sonuçları

DENEY NO	1. Deney Sonuçları	2. Deney Sonuçları	3. Deney Sonuçları
1	34	35	30
2	51	52	53
3	63	70	71
4	91	90	89
5	58	60	59
6	65	70	72
7	83	82	81
8	89	91	90
9	58	61	64

Taguchi metoduna göre sonuç elde etmek için deneyler üçer kere tekrar edilip S/N oranı hesaplanması gerekmektedir. Her bir deney sonucuna denk gelen kütle oranları ve bu değerlere karşılık olarak oluşturulan S/N oranları aşağıdaki Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Deneysel kütle oranları için- S/N değerleri [24]

DENEY NO	1. Deney Sonuçları (%)	2. Deney Sonuçları (%)	3. Deney Sonuçları (%)	S/N Oranı
1	25,00	25,73	22,05	27,64
2	30,00	30,58	31,17	29,70
3	30,88	34,31	34,80	30,42
4	44,60	44,11	43,62	32,89
5	42,64	44,11	43,38	32,74
6	38,23	41,17	42,35	32,14
7	48,82	48,23	47,64	33,66
8	43,62	44,60	44,11	32,89
9	42,64	44,85	47,05	33,01

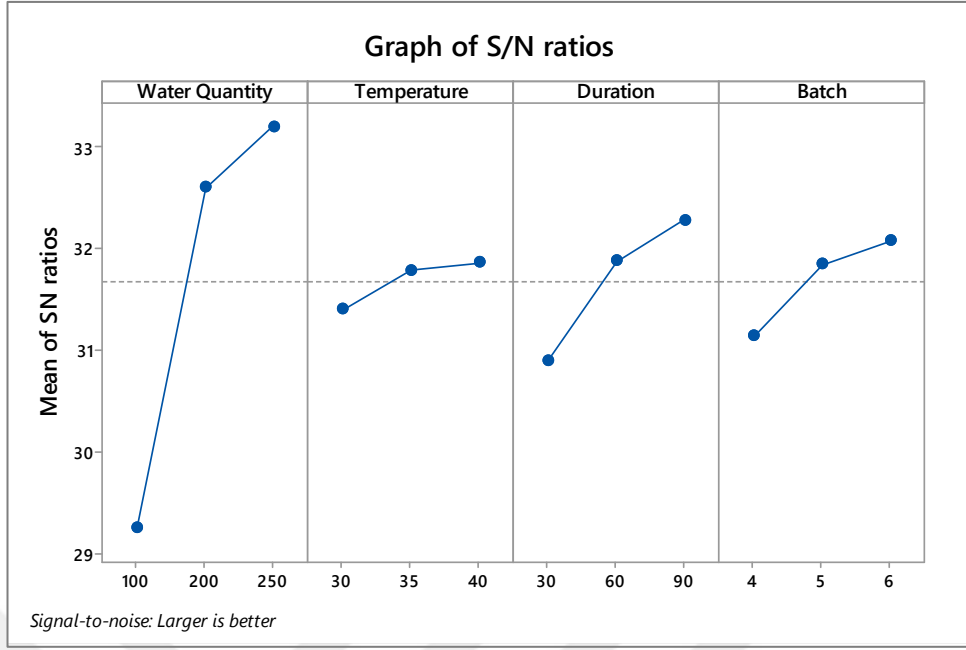
Tablo 4.2.'de yer verilen S/N oranlarının Taguchi metodu ile hesaplaması yapıldığında parametrelerin hangilerinin ne kadar etki ettiği hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki Tablo 4.3.'de de parametrelerin etki derecesine yer verilmiştir.

Tablo 4.3. Parametrelerin etki derecesi

Seviye	Su Miktarı	Sıcaklık	Süre	Batch Sayısı
1	29,25	31,40	30,89	31,13
2	32,59	31,78	31,87	31,84
3	33,19	31,86	32,28	32,07
Fark	3,93	0,46	1,39	0,93
Etki Derecesi	1	4	2	3

Tablo 4.3.'de de görüldüğü üzere en çok etkiyen parametre su miktarıdır. Su miktarı için seviye 1 ve 2 arasındaki fark, seviye 2 ve 3 arasındaki farktan yaklaşık 5 kat daha etkilidir. Bu sebeple Su miktarının etkisi seviye 2'den sonra ciddi miktarda azalmaktadır. En çok etkiyen diğer iki parametre ise süre ve batch sayısı olmuştur.

Etkileri sayısal olarak ifade edilen bu parametrelerin ekstraksiyon prosesine etkiyen davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi için etki dereceleri grafiksel olarak Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Parametrelerin etkisi

En yüksek en iyi durumu için seçilen eşitliğe göre Şekil 4.1.'de tüm parametrelerin en yüksek olması halinde daha çok şeker kütlesi verdiği görülmektedir. Fakat genel anlamda 2. seviyeden sonra grafiklerin eğimi ciddi derecede azalmaktadır. Bu azalma durumu ise parametrelerin şeker ekstraksiyonu üzerindeki etkisini giderek yitirdiğini ifade etmektedir. Çalışılan tane boyutu için 2. seviyeden sonra bu azalan etki sebebiyle kaynak ve enerji israfı oluşabilmektedir. Bunun sonucu olarak ise eğimin azaldığı bölgelerde parametre seviyesinin artması her ne kadar elde edilecek şeker miktarını artıracak olsa da parametreler etkisini giderek yitirdiği için yapılan iş kazançtan çok israfa dönüşmektedir. Bu yüzden alınan ile verileni kıyaslamak gereklidir. Hedeflenen kütle oranı aşağıdaki eşitlik (Denklem 4.1) ile uygun olarak hesaplanabilir.

$$F = 3.26786 + (0.11236 \times m_{su}) + (0.07200 \times T) + (0.08880 \times t_{süre}) + (1.51111 \times N_{batch}) \quad (4.1)$$

4.2. Süre ve Batch Sayısının Sabit Tutulması İle İlgili Deney Sonuçları

Bu yöntemle yapılan deneylerde su miktarının ve sıcaklığın ekstraksiyona olan etkisini detaylı incelemek, süre ve batch sayısının farklılaşması sıcaklık ve su miktarının etkisini ciddi oranda değiştirebileceğinden ve parametre sayısının çok olması teorik

hesaplamanın hata oranını artıracığından dolayı bu parametreler sabit bırakılarak deneyler tekrarlanmıştır.

Deneylere etki eden parametre sayısının ikiye düşmesi ve üç seviye olması sebebiyle yapılacak deneyler tekrar oluşturulup belirlenmiştir. Şekil 4.1.'deki süre ve batch sayısını temsil eden eğrilere göre parametre seviyeleri seçilmiştir. Batch sayısının 5 olma durumu grafiğe göre kritik noktada olması sebebiyle 6 adet seçilmesi uygun görülmüştür. Süre olarak ise 90 dakika her ne kadar ekstraksiyona olumlu etki sağlasa da yüksek sıcaklıklarda ısı geçişini uzun süre korumak oldukça zor olup sıcaklığın korunamaması durumunda ise deney sonuçlarına olumsuz etki oluşturacaktır. Bu nedenle 60 dakika süre uygun görülmüştür.

Parametre seviyelerine bağlı olarak keçi boynuzundan alınan şeker miktarı deneysel olarak tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile her bir deneyin sonucunda oluşan kütle oranı hesaplanabilir. Kütle oranını hesaplamak için keçi boynuzunun sahip olduğu toplam şeker miktarının tespit edilmesi gereklidir. 50 gram eş parçalara ayrılmış orta boy keçi boynuzunun sürekli olarak yıkanması durumunda geriye şeker miktarı ihmal edilebilecek düzeyde ıslak bir posa kalır. Deneyler esnasında bu ıslak posa kurutucuda kurutulduktan sonra oluşan kuru posanın kütlesi 16 gram olarak tespit edilmiştir. Yüzde 12 nem olduğunu da göz önünde bulundurduğumuzda 50 gram eş parçalara ayrılmış orta boy keçi boynuzunda 28 gram şeker bulunduğu hesaplanmıştır. Her bir deneyde 6 batch uygulanmıştır. Dolayısıyla ekstraksiyon işlemine başlamadan önce toplamda 168 gram şeker bulunmaktadır. Deneylerde her bardaktan alınan şekerlerin toplamının tüm bardaklardan alınabilecek maksimum toplam şekere oranı kütle oranını verecektir. Bu oranı veren eşitlik (Denklem 4.2) aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$\text{Kütle Oranı} = \frac{m_{\text{şeker-elde edilen}}}{m_{\text{şeker-max}}} \quad (4.2)$$

Deneyler yapıldıktan sonra toplam 9 deneyin kütle oranlarına Tablo 4.4.'de yer verilmiştir.

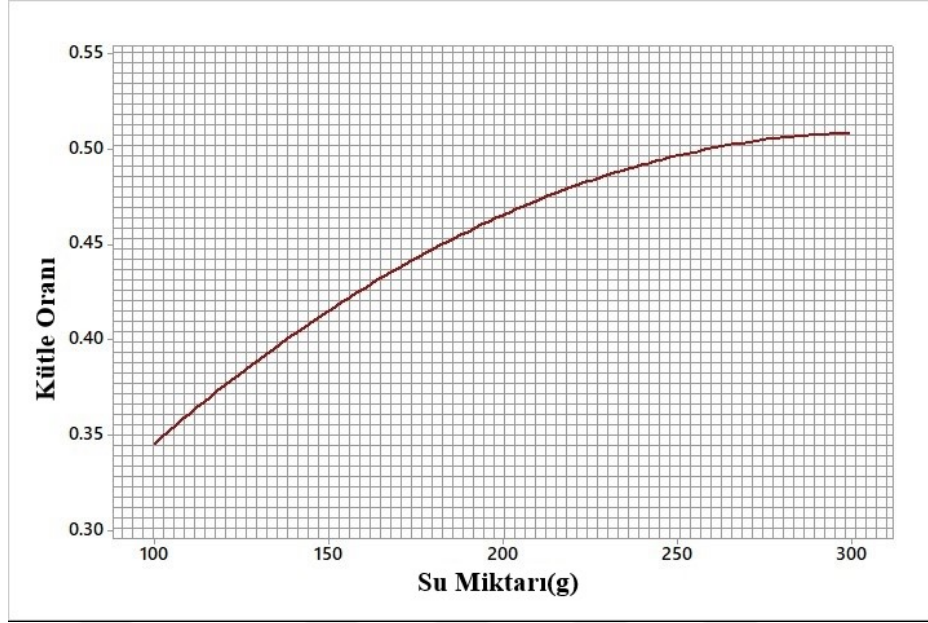
Tablo 4.4. Elde edilen deney sonuçları

Deney No	Şeker Miktarı (g)	Kütle Oranı
1	55,6	0,330952
2	58,3	0,347024
3	60,4	0,359524
4	74,2	0,441667
5	77,2	0,459524
6	83,1	0,494643
7	77,8	0,463095
8	87,4	0,520238
9	90,9	0,541071

Bu kütle oranları ile parametrelerin etkisi hesaplanabilir. Bu etkiler ayrı başlıklar altında açıklanmıştır.

4.2.1. Su miktarının ekstraksiyona etkisi

Su miktarı ekstraksiyon için pozitif anlamda en etkili parametrelerden biridir. Deneylerde su miktarının kullanımı arttıkça kütle oranı ciddi şekilde artsa da belli bir değerden sonra su miktarındaki bu artış ekstraksiyona çok fazla etki etmeyecektir. Bu sebepten ötürü fazla su miktarı kullanımı gereksiz olacağından hem israf edilmiş olacak hem de evaporasyon işleminde de buharlaştırmak için fazladan enerji harcanacaktır. Bu fazla kaynak ve enerji israfının önüne geçmek amacıyla da 9 adet deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler L9 ortogonal diziye göre uyumlu olduğu için Minitab programı aracılığıyla da hesaplanabilir. Deney verileri Minitab programına aktarıldığında su miktarının verime olan etkisi, beklenildiği üzere su miktarı arttıkça artmakta ancak eşik değerini geçtikten sonra su miktarının etkisi azalma eğilimindedir. Bu etki grafiksel olarak Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Su miktarının kütle oranına etkisi

Yukarıdaki eğride de görüldüğü üzere 250g kaynak kullanımından sonra kütle oranına etkisi ciddi derecede düşmektedir. Deney verilerinden yola çıkılarak programda oluşturulan bu eğri aşağıdaki eşitlik kullanılarak da (Denklem 4.3) ayrıca ifade edilebilir.

$$\text{Kütle oranı} = 0,1498 + (0,002343 \times m_{\text{su}}) - (0,000004 \times m_{\text{su}}^2) \quad (4.3)$$

m_{su} : Su kütlesi (g)

4.2.2. Sıcaklığın ekstraksiyona etkisi

Ekstraksiyon üzerinde pozitif anlamda en etkili parametrelerden biri de sıcaklıktır. Ekstraksiyon sürecinde sıcaklık arttıkça kütle oranı da artmaktadır. Ancak keçi boynuzundan elde edilmesi istenen şeker yüksek sıcaklıklarda karamelize olup özelliğini ve içeriğindeki faydalı bileşenleri de kaybedeceğinden ötürü 60-65°C üzerine çıkılması sakıncalıdır. Bu yüzden çalışmada 30-40 ve 50°C’de çalışılmıştır. Sıcaklığın ekstraksiyona olan etkisini Arrhenius yaklaşımı ile inceleyebiliriz. Bu yaklaşımı uygulayabilmek için üç farklı sıcaklık ile deneyler yapılmıştır. Bu yaklaşımı kullanırken frekans faktörünü denklemden yok etmek gereklidir. İfadeyi daha lineer

hale getirmek için daha önceki bölümlerde ifade edilen eşitliğin (denklem 2.5) her iki tarafının doğal logaritması alınır. Eşitlik (Denklem 4.4) aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\ln(k) = \frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \ln(A) \quad (4.4)$$

T sıcaklığına bağlı olarak k değeri değişeceğinden denklem $y = mx+n$ şekline dönüştürülmüştür. Yukarıdaki denklem ile iki farklı T sıcaklığına karşılık iki farklı k değeri elde edeceğimizden ve frekans faktörü de sabit kalacağından dolayı iki farklı T sıcaklığı için denklemler yazılmalıdır. Eşitlikler (Denklem 4.5) ve (Denklem 4.6) aşağıdaki gibi gösterilir.

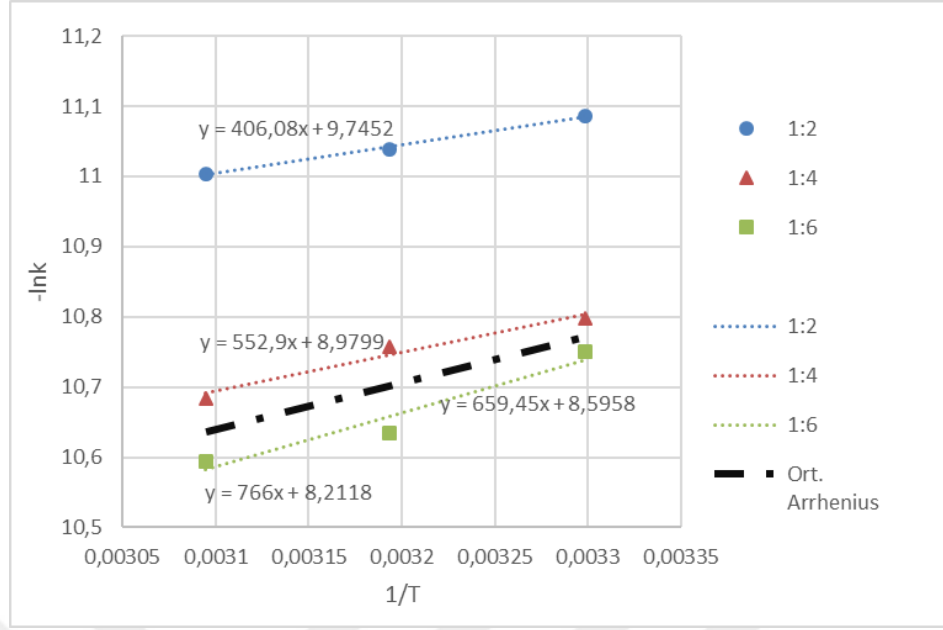
$$\ln(k_1) = \frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} \right) + \ln(A) \quad (4.5)$$

$$\ln(k_2) = \frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} \right) + \ln(A) \quad (4.6)$$

Yukarıdaki iki eşitliğin (Denklem 4.5 ve Denklem 4.6) farkı alınıp gerekli işlemler yapıldığında ise eşitlik (Denklem 4.7);

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{-E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (4.7)$$

Bu denklem ile aktivasyon enerjisi hesaplanabilir ya da alternatif olarak geometrik hesaplama ile de aktivasyon enerjisi hesaplanabilir. Aşağıdaki Şekil 4.3.'de de görüldüğü üzere her bir T(Kelvin) sıcaklığı için karşılığındaki $-\ln(k)$ değerleri işaretlenmiş ve grafik lineer olarak kabul edilebilir hale getirilmiştir.



Şekil 4.3. Arrhenius Eğrileri

Yukarıdaki Şekil 4.3.'deki eğriler sayesinde 1:2-1:6 oranları (50 gram keçiyoynuzu: kullanılan su miktarı) arasındaki kütle oranları için geometrik olarak yaklaşık bir hesaplama yapılabilir. Şekil 4.3.'deki üç eğrinin eğimleri birbirilerine çok yakın çıkmaktadır. Eğim E_a/R olduğundan her bir eğri için aktivasyon enerjileri;

1:2 oranlı deney için: $406,08K \times 8,314 \text{ j/(molK)} = 3372,12 \text{ j/mol} = 3,37 \text{ kJ/mol}$

1:4 oranlı deney için: $552,9K \times 8,314 \text{ j/(molK)} = 4613,145 \text{ j/mol} = 4,61 \text{ kJ/mol}$

1:6 oranlı deney için: $766K \times 8,314 \text{ j/(molK)} = 6337,284 \text{ j/mol} = 6,33 \text{ kJ/mol}$ olarak hesaplanmıştır.

1:2 oran ile çalışılan deneyde aktivasyon enerjisinin düşük çıkmasının sebebi keçiyoynuzunun içinde hala ekstrakte edilebilecek şekerin var olmasıdır. Bundan dolayı diğer iki eğrinin değerlerinin ortalaması alınarak tek bir denkleme düşürülebilir. Bu denklem (denklem 4.8) aşağıdaki gibidir.

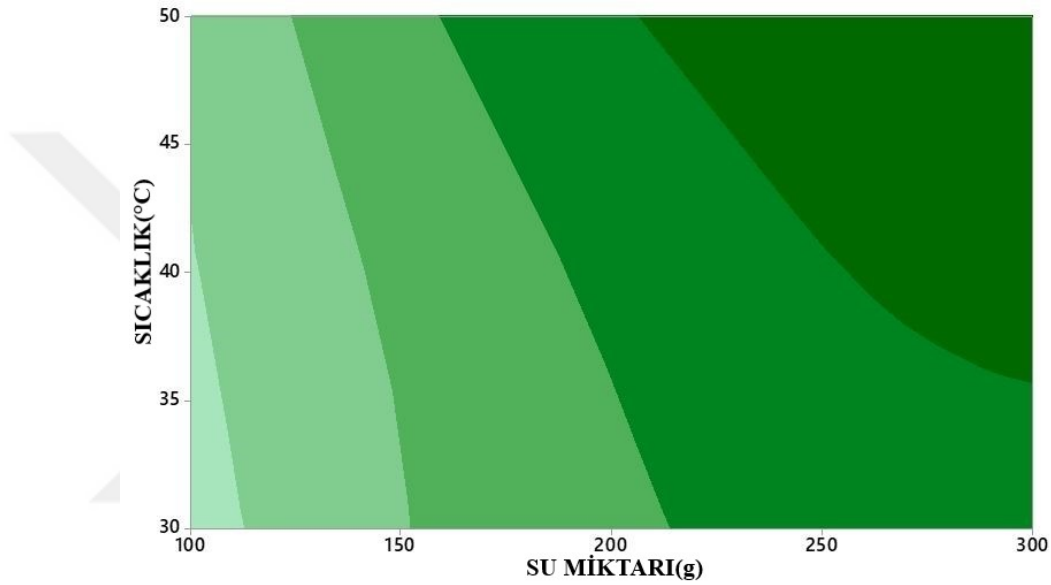
$$y=659,45x+8,5958 \quad (4.8)$$

Bu oluşturulan eğrinin eğimi ise ortalama aktivasyon enerjisini ifade etmektedir. Bu aktivasyon enerjisi de $5,475 \text{ kJ/mol}$ 'dür. Bu değer literatürde sürekli sistemde yapılan

deneylerde keçi boynuzu ekstraksiyonunda gereken aktivasyon enerjisi için 5,66 kJ/mol değeri ile de çok yakın olduğu doğrulanmıştır.

4.2.3. Ekstraksiyonda sıcaklık ve su miktarı arasındaki ilişki

DeneySEL veriler Minitab programına aktarıldıktan sonra oluşturulan kontur Şekil 4.4.'de renklendirilmiş olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sıcaklık ve su kütlesi arasındaki ilişki

En koyu renkteki bölgelerde kütle oranının en yüksek olduğu, en açık renkteki bölgelerde ise kütle oranının en düşük olduğu görülmektedir. Sabit su miktarında Şekil 4.4.'de de görüldüğü üzere sıcaklığı arttırarak kütle oranını arttırmanın daha zor ve hatta özellikle de düşük su miktarlarında ise kütle oranının yüksek olduğu konturun koyu olan bölgelerine ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Sabit sıcaklık değerinde ise su miktarının artışı ile kütle oranının daha kolay arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda su miktarının etkisinin sıcaklığın etkisinden daha yüksek olduğu da şekilden yorumlanabilir. Şekil 4.4.'e göre 300 gram ve yaklaşık 37-38°C'de su ile çalışıldığında istenilen kütle oranına ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Fakat gelecekte suya ulaşımın daha zor olacağı düşünülürse aynı etkiyi sağlamak için sıcaklık olarak 50°C, su miktarı olarak da yaklaşık 210-215 gram kullanıldığında su israfının önlemine katkı sağlanmaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde azalan yağışlar ve kuraklık tehdidi nedeniyle şeker ihtiyacının keçiboynuzu gibi daha az su ihtiyacı olan gıda maddelerinden eldesinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Keçiboynuzu; şeker pancarı ve şeker kamışına kıyasla çok daha az suya ihtiyaç duymaktadır. Buna ek olarak keçiboynuzu kalp ve damar sistemi, bağırsak ve sindirim sistemi, akciğer ve solunum sistemi ayrıca bağışıklık sistemi gibi birçok yerde sağlığa faydası olan minerallere sahiptir. Bu özellikleri sebebiyle içerisindeki mineral ve şekerin ekstraksiyonu ile ekstraksiyona etki eden parametreler deneysel olarak incelenmiştir.

Ekstraksiyon ile elde edilebilecek kütle miktarının ekstraksiyon koşullarına bağlı olduğu bilinmektedir. Taguchi ile yapılan deney serisinde dört parametre için kütle miktarının hesaplanabileceği bir denklem önerilmiştir. Bu denklemi daha basit hale getirmek ve daha doğru hesaplama yapabilmek için süre ve batch sayısı parametreleri sabit tutularak deneyler tekrarlanmıştır. Kütle geçişi için önemli bir parametre olan sıcaklığın, kütle geçiş katsayısına etkisini daha detaylı incelemek ve bir aktivasyon enerjisi belirlemek için Arrhenius yaklaşımı ile ayrıca araştırılmıştır.

Deneysel verilere göre Arrhenius eğrileri çizdirildiğinde eğimlerin yaklaşık olarak birbirlerine paralel olduğu görülmüştür. Eğrilere göre ortalama aktivasyon enerjisi 5.475 kJ/mol hesaplanmıştır. Hesaplanan aktivasyon enerjisi sayesinde de sıcaklık değişiminin kütle geçiş katsayısına etkisi daha doğru tespit edilebilmektedir. Bu sayede enerji ve kaynak sarfiyatının önüne geçilirken keçiboynuzundan elde edilen şekerin üretim sürecinde sürekli brix değeri ölçmektense Arrhenius yaklaşımı kullanılarak önerilen denklem ile kütle geçiş katsayısı dolayısıyla kütle oranı hesabı yapılabilir. Bu yaklaşım disiplinlerarası çalışmalar ile bazı faydalı bitkilerin ekstraksiyonunda da verimi arttırmak için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Pazır, F., Alper, Y. Keçiboynuzu Meyvesi ve Sağlık, 302–306, 2016.
- [2] Gübbü, H., Tozlu, K. İ., Doğan, A., ve Balkıç, R., Çevre, Endüstriyel Kullanım ve İnsan Sağlığı Yönleriyle Keçiboynuzu, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016.
- [3] Olgunlaşmamış Harnup Meyvesi, <https://www.keciboynuzu.net/keci-boynuzu-agaci-nasil-dikilir.html>, Erişim Tarihi: 2018.
- [4] Olgun Harnup Meyvesi, <https://www.sondakika.com/haber/haber-manavgat-ta-keci-boynuzu-yetistiriciligi-6391075/>, Erişim Tarihi: 2014.
- [5] Yıldırım, H. İ., Kargioğlu, M., The Production and Utilization of Natural Keçiboynuz Syrup in Alanya and Gazipaşa Districts of Antalya, 10–16, 2015.
- [6] Battle, I., Çeviri: Yıldırım, T., Akdeniz Bölgesinde Keçiboynuzu Ağacının Günümüzdeki Durumu ve Yayılma Olanakları, Batı Akdeniz Orman. Araştırma Enstitüsü Yayınları, 33–38, 1997.
- [7] Çetinay, Ş., Coşgun, S., Şahin, M., Yılmaztürk, A., ve Güngöroğlu, C., Keçiboynuzunun Köprülü Kanyon Milli Parkındaki Yayılış Alanı ve Bazı Morfolojik Özellikleri ile Meyve Verimleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi, J. Chem. Inf. Model., 1689–1699, 2019.
- [8] Cansız, M., Keçiboynuzu, <https://tdk.gov.tr>, 49–51.
- [9] Özhan, N.B., Depolama Süresince Keçiboynuzu Pekmezinde Enzimatik Olmayan Esmerleşme Reaksiyonları Kinetiği, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [10] Khatib, S., and Vaya J., Fig, carob, pistachio, and health, First Edit. Elsevier Inc., 2010.
- [11] Mulet, A., Fernández-Salguero, J., García-Pérez, J. V., Bon, J., Mechanistic modeling to address process analysis: Kibbles of carob pod extraction, J. Food Eng., 71–76, 2016.

- [12] Turhan, I., Tetik, N., Aksu, M., Karhan, M., Certel, M., Liquid-solid extraction of soluble solids and total phenolic compounds of carob bean, *J. Food Process Eng.*, 498–507, 2006.
- [13] Şenay, F., Keçiboynuzundan sıvı şeker üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [14] Demirtaş, Ö., Keçiboynuzu çekirdeklerinden gam üretim yollarının araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [15] Yılmaz, M. Y., Keçiboynuzu Suyu Üretim Teknolojilerinin Geliştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [16] Yurdagel, Ü., and Teke, İ., Keçiboynuzu Meyvesinin Kavrulması ile Oluşan Renk Değişimlerinin Araştırılması, 1985.
- [17] Turhan, İ., Sürekli Sistemde Keçiboynuzu Ekstraksiyonu Üzerine Araştırma, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [18] Tiwari, B. K., Ultrasound: A Clean, Green Extraction Technology for Bioactives and Contaminants, *Wilson and Wilsons Comprehensive Analytical Chemistry*, 111–129, 2017.
- [19] Tetik, N., Yüksel, E., Ultrasound-assisted extraction of d-pinitol from carob pods using Response Surface Methodology, *Ultrason. Sonochem.*, 860–865, 2014.
- [20] Sarvin, B. A., Seregin, A. P., Shpigun, O. A., Rodin, I. A., Stavrianidi, A. N., A novel strategy for isolation and determination of sugars and sugar alcohols from conifers, *Journal Of Chromatography B-Analytical Technologies In The Biomedical And Life Sciences*, 138–144, 2018.
- [21] Berk, Z., *Food Science and Technology-International Series*, 2009.
- [22] Akdogan, A.Y., Ayırma Prosesleri Ekstraksiyon, *İnovatif Kimya*, 19–22, 2015.
- [23] Çengel, Y., Ghajar, A. J., *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*, 2015.
- [24] Durmaz, U., Ozel, M. B., An Experimental Study On Extraction Of Sugar From Carob Using With Taguchi Method, *Saujs*, 916-923, 2019.

EKLER

EK A: Şeker-Su Karışımlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.1. Deneylere ait şeker-su karışım kütleleri

	Gram	1.Bardak	2.Bardak	3.Bardak	4.Bardak	5.Bardak	6.Bardak
Deney	1.Batch	74,3	74,2	76	75,2	75	77,6
No: 1	2.Batch	63,4	65,8	67,2	66,9	66,4	-
	3.Batch	62,2	59,2	61,7	60,8	-	-
	4.Batch	57,5	56,2	57,5	-	-	-
	5.Batch	54,4	55,4	-	-	-	-
	6.Batch	54,6	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	70,1	72	71,1	68,7	71,9	71,4
No: 2	2.Batch	60	61,3	64,8	63,5	62,7	-
	3.Batch	55,2	58,5	57,4	58,3	-	-
	4.Batch	54,9	54,9	53,6	-	-	-
	5.Batch	54	55,7	-	-	-	-
	6.Batch	54,1	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	65,7	68,7	67,9	68,6	72,2	72,7
No: 3	2.Batch	55,9	58	58,3	57,7	63,5	-
	3.Batch	51,7	53,4	53,6	53,1	-	-
	4.Batch	51,9	51,6	50,7	-	-	-
	5.Batch	50,3	50,7	-	-	-	-
	6.Batch	51,4	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	176,5	177,1	177,5	176,6	176,9	178,3
No: 4	2.Batch	169,8	168,3	169,2	170,9	170,4	-
	3.Batch	162,4	162,8	164,4	166,2	-	-
	4.Batch	161,5	160,6	161,6	-	-	-
	5.Batch	160,5	161,1	-	-	-	-
	6.Batch	161,7	-	-	-	-	-

Tablo 5.1.(Devamı)

	Gram	1.Bardak	2.Bardak	3.Bardak	4.Bardak	5.Bardak	6.Bardak
Deney	1.Batch	171,6	174	174,7	175,3	177	175,4
No: 5	2.Batch	163,9	165,8	164,5	168,1	167,2	-
	3.Batch	160,5	160,2	159,5	162,3	-	-
	4.Batch	158,6	158,2	158,2	-	-	-
	5.Batch	159,2	160,6	-	-	-	-
	6.Batch	160,6					
Deney	1.Batch	167,6	168,9	172,9	173,1	173,3	174,9
No: 6	2.Batch	159,9	162,4	162,9	164	165,3	-
	3.Batch	158,6	158,1	158,8	162,2	-	-
	4.Batch	158,3	157,7	158,4	-	-	-
	5.Batch	157,6	159,6	-	-	-	-
	6.Batch	158,8	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	274,4	274,7	274,9	275,8	274,2	273
No: 7	2.Batch	265,2	266	266,3	267,9	266,5	-
	3.Batch	259,7	261,3	261,7	263,7	-	-
	4.Batch	256,4	258,5	258,8	-	-	-
	5.Batch	257,4	259,3	-	-	-	-
	6.Batch	259	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	270,9	269,4	272,2	272,3	273,3	274,3
No: 8	2.Batch	258,1	256,5	262,5	264,6	263,8	-
	3.Batch	254	253,4	256,4	258,8	-	-
	4.Batch	252,5	253,1	257,5	-	-	-
	5.Batch	254,1	253,2	-	-	-	-
	6.Batch	254,2	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	265,3	270,2	269	270,9	270	271,3
No: 9	2.Batch	257	260,8	260,2	261,1	259,7	-
	3.Batch	255,7	257,8	257,4	258,2	-	-
	4.Batch	255,2	257,8	258	-	-	-
	5.Batch	254,3	257,8	-	-	-	-
	6.Batch	256,4	-	-	-	-	-

EK B: Islak Posalara Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.2. Deneylere ait ıslak posa kütleleri

	Gram	1.Bardak	2.Bardak	3.Bardak	4.Bardak	5.Bardak	6.Bardak
Deney	1.Batch	75,7	75,8	76	74,5	75,1	72,3
No: 1	2.Batch	86,5	84,5	82,7	82,8	83,4	-
	3.Batch	87,8	90,6	87,8	89,3	-	-
	4.Batch	94,1	93,7	92,6	-	-	-
	5.Batch	95,8	94,7	-	-	-	-
	6.Batch	95,6	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	80,6	78,9	79,2	78,8	78,6	78,6
No: 2	2.Batch	90,3	88,6	88	86,1	87,1	-
	3.Batch	94,6	92,5	92,9	91,2	-	-
	4.Batch	95,6	95,1	96,2	-	-	-
	5.Batch	96,3	94	-	-	-	-
	6.Batch	95,6	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	84,8	81,4	82	81,4	78,4	76,8
No: 3	2.Batch	93,7	91,7	91,7	92,1	86,3	-
	3.Batch	98,8	96,4	96,4	96,9	-	-
	4.Batch	99,3	98,1	99,5	-	-	-
	5.Batch	99,4	99,5	-	-	-	-
	6.Batch	98,7	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	73,1	73,1	73	73,2	73,1	71,3
No: 4	2.Batch	80,8	81,5	80,5	78,9	79,5	-
	3.Batch	87,3	87,1	85,4	84	-	-
	4.Batch	88,3	89,1	88,4	-	-	-
	5.Batch	89,4	89,2	-	-	-	-
	6.Batch	88,5	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	78,2	76,5	75,5	74,8	74	74,2
No: 5	2.Batch	85,7	84,1	85,5	81,6	82,4	-
	3.Batch	89,5	89,6	90	87,5	-	-
	4.Batch	91	91,1	91,1	-	-	-
	5.Batch	90,6	89,1	-	-	-	-
	6.Batch	88,7	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	82,4	81	77,2	76,8	77,7	75,2
No: 6	2.Batch	90	87,2	87	85,7	84,3	-
	3.Batch	90,2	92,1	91,1	88	-	-
	4.Batch	91,7	92	91	-	-	-
	5.Batch	92	89,6	-	-	-	-
	6.Batch	90,2	-	-	-	-	-

Tablo 5.2. (Devamı)

	Gram	1.Bardak	2.Bardak	3.Bardak	4.Bardak	5.Bardak	6.Bardak
Deney	1.Batch	75.4	75.4	74.5	74.3	76.5	77
No: 7	2.Batch	85.1	84	83.2	82.2	83.2	-
	3.Batch	89.3	89	88	85.8	-	-
	4.Batch	91.8	90.8	90.8	-	-	-
	5.Batch	91.5	90.3	-	-	-	-
	6.Batch	90.9	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	79,1	80,4	77,5	77,7	76,2	75.5
No: 8	2.Batch	91,8	91,9	87,7	85,8	85,8	-
	3.Batch	95,5	96,4	93,2	90,9	-	-
	4.Batch	96,4	97,1	92,2	-	-	-
	5.Batch	95,8	96,5	-	-	-	-
	6.Batch	95,1	-	-	-	-	-
Deney	1.Batch	84,4	79,8	80,9	79,3	80	78,6
No: 9	2.Batch	93	88,8	89,7	87,9	90,1	-
	3.Batch	94,1	91,8	92,2	91,1	-	-
	4.Batch	94,4	91,9	91,2	-	-	-
	5.Batch	95,1	91,6	-	-	-	-
	6.Batch	93	-	-	-	-	-

EK C: Kurutma Sonunda Ekstrakte Edilmiş Şeker ve Kurutulmuş Posaların Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.3. Deneyde elde edilen şeker kütleleri

Deney No	1.Tabak	2.Tabak	3.Tabak	4.Tabak	5.Tabak	6.Tabak	Toplam
1	1,5	3,7	5,7	10,1	15	19,6	55,6
2	1,6	4,3	7,3	11,3	15,1	18,7	58,3
3	1,6	4,6	7,7	11,1	15,2	20,2	60,4
4	1,6	4,2	7,3	12,8	19,3	29	74,2
5	1,3	4,2	8,1	13,4	19,8	30,4	77,2
6	1,1	4,2	8,9	15,2	21,1	32,6	83,1
7	1,3	3,8	7,3	12,8	19,6	33	77,8
8	1,4	4,5	8,9	15,6	22,2	34,8	87,4
9	1,3	4,2	9,2	15,9	23,6	36,7	90,9

Tablo 5.4. Deney sonunda kalan kuru posa kütleleri

Deney No	1.Tabak	2.Tabak	3.Tabak	4.Tabak	5.Tabak	6.Tabak	Toplam
1	22,9	26,6	31,5	33,9	37,8	38,1	190,8
2	20,1	26	31,6	35,2	38,9	39,5	191,3
3	20,6	26,1	28,9	35,7	35,3	38,9	185,5
4	21,1	24,3	26,7	29,3	34,5	37	172,9
5	18,1	21,6	25,7	28,4	33,1	36,7	163,6
6	16,5	20,6	25,3	28,6	34,9	37,6	163,5
7	19,2	20,7	23,8	25,7	33	35,7	158,1
8	17,9	21,3	24	27,2	32,1	35,8	158,3
9	18,3	21,9	23,8	29,4	34,6	37,1	165,1

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Berkant Özel, ilköğretim ve ortaöğretimi İzmir'in Torbalı ilçesinde Kâzımpaşa ilkokulunda bitirdikten sonra eğitimine Torbalı Anadolu Lisesinde devam etti. 2009 yılında başladığı lise dönemini 2013 yılında bitirdikten sonra Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde eğitimine 4 yıl devam edip 2017 yılında da yine kendi alanında yüksek lisansa başladı. 2020 yılında ise Sakarya Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Bu esnada yüksek lisans eğitimine devam etti. Halen Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.