

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**V-TİPİ MİKSERLERDE TOZ GIDA KARIŞIMLARINI
ETKİLEYEN FAKTÖRLER: TAGUCHI, ENTROPİ VE GRİ
İLİŞKİSEL ANALİZ YAKLAŞIMI**

**Hazırlayan
Vildan GÜRMERİÇ**

**Danışman
Prof. Dr. Mahmut DOĞAN**

Doktora Tezi

**Eylül 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**V-TİPİ MİKSERLERDE TOZ GIDA KARIŞIMLARINI
ETKİLEYEN FAKTÖRLER: TAGUCHİ, ENTROPİ VE GRİ
İLİŞKİSEL ANALİZ YAKLAŞIMI
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Vildan GÜRMERİÇ**

**Danışman
Prof. Dr. Mahmut DOĞAN**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2015- 5831 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Eylül 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Vildan GÜRMERİÇ

“V-Tipi Mikserlerde Toz Gıda Karışımlarını Etkileyen Faktörler: Taguchi, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz Yaklaşımı” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Vildan GÜRMERİÇ

Danışman

Prof. Dr. Mahmut DOĞAN

Gıda Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zülal KESMEN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında ve lisansüstü öğrenimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, sabırlı ve anlayışlı davranışları ile çalışmanın tamamlanmasını sağlayan tez danışmanım Prof. Dr. Mahmut DOĞAN'a,

Çalışmalarım sırasında paylaşımlarını ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Kemal SARIOĞLU, Prof. Dr. Hasan YALÇIN ve Prof. Dr. Zülal KESMEN nezdinde tüm bölüm hocalarıma, özellikle Arş. Gör. Dr. Duygu ASLAN TÜRKER'e,

FDK-2015-5831 kodlu proje ile tez çalışmamı maddi olarak destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Hayatım boyunca her zaman koşulsuz yanımda olan ve emeklerini esirgemeyen babam ve artık yanımda olmasa da sevgisini ve desteğini her daim hissettiğim rahmetli anneme,

Bu süreçte en çok ihmal etmek zorunda kaldığım, varlıkları ile huzur bulduğum oğullarıma; desteği, anlayışı ve sabrı ile süreci tamamlamada her zaman yanımda olan sevgili eşim Dr. Hüseyin Ender GÜRMERİÇ'e

en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Vildan GÜRMERİÇ

Eylül 2025, KAYSERİ

V-TİPİ MİKSERLERDE TOZ GIDA KARIŞIMLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER: TAGUCHİ, ENTROPİ VE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YAKLAŞIMI

Vildan GÜRMERİÇ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Eylül 2025
Danışman: Prof. Dr. Mahmut DOĞAN

ÖZET

Bu tez çalışmasında gıda sanayisinde kullanılan bazı toz gıdaların model formülasyonları oluşturularak, V-tipi toz karıştırıcılarda karışım homojenitesine etkili olan parametreler araştırılmıştır. Çalışmada toz akış özellikleri ile akışa etki eden faktörler incelenmiştir. Karıştırıcı doluluk oranına bağlı olarak optimum karışım süresi ve homojenitesi tespit edilmiştir. Model toz gıda bileşenlerinin nem, su aktivitesi, partikül boyutu, yığın yoğunluğu ve toz akış davranış özellikleri (akış sınıfı, kohezyon, kekleşme ve hız bağımlılığı testleri) belirlenmiştir. Temel Bileşenler ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi yöntemleri kullanılarak örnekler arasındaki benzerlik ve benzerliğin nedenleri ortaya konmuştur. Toz karışımların homojenitesinin belirlenmesi için geleneksel yöntemlerin (karıştırma/ayırma indeksi) yanı sıra toz gıda karışımları için ilk defa uygulanan Taguchi, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz yaklaşımı ele alınmıştır. Tez çalışması sonucunda toz bileşenlerinin akış sınıflandırmasında nem içeriği ve partikül boyutunun belirleyici faktör olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan karışım süresi, mikserin dönüş hızı ve doluluk seviyesinin mikser karıştırma performansını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, karıştırma/ayırma indeksleri ile Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz sonuçları arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyonlar ($r=0.78-0.89$) bulunmuştur. Bu durum kullanılan matematiksel yöntemlerin karışım homojenliğini güvenilir biçimde açıklayabildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, toz gıdaların hazırlanmasında önemli olan mikser karışım homojenitesi, optimum karışım süresi ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi için toz akış davranışlarının (toz reolojisi) belirlenmesinin gerekli olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: V-tipi mikser, toz gıda, toz akış davranışı, toz reolojisi, Taguchi, Entropi, Gri İlişkisel Analiz

FACTORS AFFECTING FOOD POWDER MIXTURES IN V-TYPE MIXERS: TAGUCHI, ENTROPY AND GREY RELATIONAL ANALYSIS APPROACH

Vildan GÜRMERİÇ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph.D. Thesis, September 2025

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut DOĞAN

ABSTRACT

In this thesis, model formulations were formed for some powdered foods used in the food industry, and the parameters affecting mixture homogeneity in V-type powder mixers were investigated. The study examined powder flow properties and the factors influencing flow. Depending on the mixer filling rate, the optimum mixing time and homogeneity were determined. The moisture content, water activity, particle size, bulk density, and powder flow behaviors (flow class, cohesion, caking, and speed dependency tests) of the model powdered food ingredients were identified. Principal Component and Hierarchical Cluster Analysis methods were employed to reveal the similarities among the samples and the reasons for these similarities. In addition to traditional methods (mixing/segregation index) for determining the homogeneity of powdered mixtures, the Taguchi, Entropy, and Grey Relational Analysis approaches were applied to powdered food mixtures for the first time. The findings demonstrated that moisture content and particle size were the decisive factors in the flow classification of powdered components. It was found that mixing time, mixer rotation speed, and fill level significantly affect mixing performance. Furthermore, high positive correlations ($r = 0.78\text{--}0.89$) were observed between mixing/segregation indices and the results of Taguchi and Grey Relational Analysis, indicating that the applied mathematical methods reliably explained mixing homogeneity. In conclusion, it was understood that determining the flow behavior of powders (powder rheology) is essential for improving mixer homogeneity, optimizing mixing time, and enhancing product quality in the preparation of powdered foods.

Keywords: V-type mixers, food powder, powder flow behavior, powder rheology, Taguchi, Entropy, Grey Relational Analysis

İÇİNDEKİLER

V-TİPİ MİKSERLERDE TOZ GIDA KARIŞIMLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER: TAGUCHI, ENTROPİ VE GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ YAKLAŞIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xxi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri	4
1.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri	7
1.3. Toz Gıdaların Karıştırılma İşlemi	8
1.3.1. Toz Gıdalarda İdeal Karışımın Sağlanması.....	10
1.3.2. Toz Gıda Karışımlarının Kalitesinin Belirlenmesi için Örneklem	12
1.3.3. Toz Gıda Karışımlarının Kalitesi.....	13
1.3.4. Toz Gıda Karıştırıcılarında Karışım Hızı ve Karışım Süresi.....	17
1.3.5. Toz Gıda Karıştırıcılarında Karışım Mekanizmaları.....	17
1.3.5.1. Konvektif Karışım.....	18
1.3.5.2. Difüzyif Karışım	19
1.3.5.3. Kayma ile Karışım	19
1.4. Toz Karıştırıcılarda Ayrışma (Segregasyon).....	20
1.4.1. Toz Karıştırıcılarda Ayrışma Mekanizmaları	21
1.4.2. Toz Karıştırıcılarda Ayrışmanın Engellenmesi	21

1.5. Toz Karıştırıcılar	22
1.5.1. Alt-üst eden (Tumbling) Toz Karıştırıcılar	23
1.5.2. Konvektif Toz Karıştırıcılar	25
1.5.3. Statik Toz Karıştırıcılar	28
1.5.4. Karıştırıcı seçimi	29
1.6. Matematiksel Yaklaşımlar	29

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	33
2.2. Yöntem	34
2.2.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri	34
2.2.1.1. Nem Tayini	34
2.2.1.2. Su Aktivitesi Tayini	35
2.2.1.3. Ortalama Partikül Boyutu Tayini.....	35
2.2.1.4. Dökme ve Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu Tayini.....	35
2.2.1.5. Toz Gıdaların Akış Davranış Özelliklerinin Belirlenmesi	36
2.2.2. Model Toz Gıda ürünlerinin Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu	39
2.2.2.1. Model Bulgur Karışımının Hazırlanması ve Analizi	40
2.2.2.2. Model Toz Sütlaç Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi	43
2.2.2.3. Model Toz Çorba Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi	44
2.2.2.4. Model Toz Puding Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi.....	45
2.2.2.5. Model Aşure Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi	46
2.2.2.6. Model Toz İçecek Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi	47
2.2.3. Model Toz Gıda Ürünlerinin Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu için Kullanılan Matematiksel Modellemeler	49
2.2.3.1. Taguchi Yöntemi.....	49
2.2.3.1.1. Taguchi Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	51
2.2.3.2. Entropi Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi	51
2.2.3.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi	53
2.2.4. İstatistiksel Analizler	56
3. BÖLÜM.....	57
BULGULAR	57

3.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri	57
3.1.1. Toz Gıdaların Nem Özellikleri	57
3.1.2. Toz Gıdaların Su Aktivitesi (a_w) Özellikleri.....	57
3.1.3. Toz Gıdaların Yığın Yoğunluğu Özellikleri.....	58
3.1.4. Toz Gıdaların Partikül Boyutu Özellikleri	58
3.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri	61
3.3. Toz Gıdaların Fiziko-kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişkinin ve Benzerliğin Tespiti	67
3.3.1. Temel Bileşen Analizi (PCA)	67
3.3.2. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA)	72
3.4. Model Toz Gıda Ürün Analizleri.....	73
3.4.1. Model Bulgur Karışımı Analizi.....	73
3.4.2. Model Toz Sütlaç Ürün Karışımı Analizi.....	79
3.4.2.1. Model Toz Sütlaç Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri	87
3.4.2.2. Model Toz Sütlaç Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu	93
3.4.2.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon	93
3.4.2.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon..	97
3.4.2.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	104
3.4.3. Model Toz Çorba Ürün Karışımı Analizi.....	108
3.4.3.1. Model Toz Çorba Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri	112
3.4.3.2. Model Toz Çorba Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu	114
3.4.3.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon	114
3.4.3.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon.	117
3.4.3.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	123
3.4.4. Model Toz Puding Ürün Karışımı Analizi	127
3.4.4.1. Model Toz Puding Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri.....	128
3.4.4.2. Model Toz Puding Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu	134
3.4.4.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon	134
3.4.4.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	137
3.4.4.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	143

3.4.5. Model Aşure Ürün Karışımı Analizi.....	147
3.4.5.1. Model Aşure Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri.....	152
3.4.5.2. Model Aşure Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin	
Optimizasyonu	155
3.4.5.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon	155
3.4.5.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	160
3.4.5.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	167
3.4.6. Model Toz İçecek Ürün Karışımı Analizi.....	171
3.4.6.1. Model Toz İçecek Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri	176
3.4.6.2. Model Toz İçecek Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin	
Optimizasyonu	179
3.4.6.2.1. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon	179
3.4.7. Model Ürün Karışımlarının Homojenitesinin Değerlendirilmesinde	
Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	186
4. BÖLÜM	
TARTIŞMA – SONUÇ ve ÖNERİLER	
4.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri	191
4.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri	194
4.3. Model Toz Gıda Ürün Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu	199
4.4. Öneriler	212
KAYNAKLAR.....	214
ÖZGEÇMİŞ.....	234

KISALTMALAR ve SİMGELER

$\bar{x}$	: Aritmetik ortalama
AU	: Tozun mikser içerisine Alt-üst yönünde yerleştirilmesi
CI	: Carr indeksi
CV	: Değişim (varyasyon) katsayısı (coefficient of variation)
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
d_{50}	: Ortalama partikül (tanecik) boyutu
dB	: Desibel
d_j	: Entropi farklılaşma derecesi
DO	: Mikser doluluk oranı
DYY	: Dökme yığın yoğunluğu
e_j	: Entropi değeri
GİA	: Gri İlişkisel Analiz
GİD	: Gri İlişki Derecesi
GİK (ζ_i)	: Gri İlişki Katsayısı
HCA	: Hiyerarşik Kümeleme Analizi (Hierarchical Cluster Analysis)
HO	: Hausner oranı
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (High performance liquid chromatography)
KS	: Mikser karışım süresi
ML	: Lacey karıştırma indeksi
M_x	: ki-kare karıştırma indeksi
PCA	: Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis)
PFSD	: Toz akış hızı bağımlılığı (Powder flow speed dependency)
s	: Standart sapma
S/N	: Taguchi metodu Sinyal/Gürültü oranı
s^2	: Varyans
S_x	: ki-kare ayrışma indeksi
SY Y	: Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu
V3L	: V-tipi mikser (3L)

V8L	: V-tipi mikser (8L)
W_i	: Kriter ağırlığı
X²	: ki-kare istatistiği
YY	: Tozun mikser içerisine Yan-yana yerleştirilmesi
Φ	: Gri ilişkisel analiz ayırım katsayısı



TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Toz gıda kategorisinde kullanılan terimler ve özellikleri	5
Tablo 2.1.	Kohezyon indeksi değerlerine göre tozların akış sınıflandırması	37
Tablo 2.2.	Carr indeksi ve Hausner oranına göre akış sınıfları	38
Tablo 2.3.	Model toz gıda ürün karışımları için oluşturulan faktörler ve seviyeleri	41
Tablo 2.4.	Bulgur karışımı için Cevap Yüzey metodu Box-Behnken deney tasarımı	42
Tablo 2.5.	Model Toz Sütlaç ürün karışımlarına ait bileşen miktarları	43
Tablo 2.6.	Model Toz Çorba ürün karışımına ait bileşen miktarları.....	44
Tablo 2.7.	Model Toz Puding ürün karışımına ait bileşen miktarları	45
Tablo 2.8.	Model Aşure ürün karışımına ait bileşen miktarları	46
Tablo 2.9.	Model Toz İçecek ürün karışımına ait bileşen miktarları	47
Tablo 2.10.	Model toz gıda ürünleri için oluşturulan Taguchi L ₂₅ deneme dizaynı ...	50
Tablo 3.1.	Toz ve granüler gıdaların bazı fiziko-kimyasal özellikleri.....	59
Tablo. 3.2	Granüler gıda ürünlerine ait ortalama tanecik boyutu sonuçları	61
Tablo 3.3.	Toz gıdaların kohezyon indeksi değerlerine göre akış özellikleri	62
Tablo 3.4.	Toz gıdaların Carr indeksi ve Hausner oranı değerlerine göre akış özellikleri.....	63
Tablo 3.5.	Toz gıda örneklerine ait kek ve ortalama kek gücü değerleri.....	65
Tablo 3.6.	Toz gıda örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki korelasyon	67
Tablo 3.7.	PCA bileşen matrisi	69
Tablo 3.8.	Bulgur örneklerine ait fiziksel özellikler.....	73
Tablo 3.9.	Model Bulgur karışımlarına ait Lacey karıştırma indeksi (M _L) değerleri	74
Tablo 3.10.	Model Bulgur karışımının optimizasyonuna ait kuadratik model varyans analizi	77
Tablo 3.11.	Model Toz Sütlaç ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri.....	79
Tablo 3.12.	Model Toz Sütlaç ürünlerine ait bileşenlerin ortalama miktar (%) değerleri.....	80

Tablo 3.13.	Model Toz Sütlaç ürün karışımında pirinç bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri	84
Tablo 3.14.	Model Toz Sütlaç ürün karışımında şeker bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri	85
Tablo 3.15.	Model Toz Sütlaç ürün karışımında nişasta bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri	86
Tablo 3.16.	Model Toz Sütlaç ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri ..	87
Tablo 3.17.	Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri	90
Tablo 3.18.	Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri	90
Tablo 3.19.	Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S_X) değerleri	91
Tablo 3.20.	Model Toz Sütlaç ürünüde karıştırma/ayırma indeksleri arasındaki korelasyon.....	93
Tablo. 3.21.	Model Toz Sütlaç ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları	94
Tablo 3.22.	Model Toz Sütlaç ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları	96
Tablo 3.23.	Model Toz Sütlaç ürünüde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	97
Tablo 3.24.	Model Toz Sütlaç ürünü için oluşturulan GİA değerleri	99
Tablo 3.25.	Model Toz Sütlaç ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması ...	101
Tablo 3.26.	Model Toz Sütlaç ürünüde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD ₀ değerleri.....	102
Tablo 3.27.	Model Toz Sütlaç ürünüde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD _T değerleri	102
Tablo. 3.28.	Model Toz Sütlaç ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD ₀ değerlerine ait ANOVA tablosu	103
Tablo. 3.29.	Model Toz Sütlaç ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD _T değerlerine ait ANOVA tablosu	104
Tablo 3.30.	Model Toz Sütlaç ürünüde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi	105
Tablo 3.31.	Model Toz Sütlaç ürünüde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	106

Tablo 3.32.	Model Toz Sütlaç ürünüde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_E değerleri	106
Tablo. 3.33.	Model Toz Sütlaç ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GID_E değerlerine ait ANOVA tablosu	107
Tablo 3.34.	Model Toz Sütlaç ürünüde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları	108
Tablo 3.35.	Model Toz Çorba ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri	108
Tablo 3.36.	Model Toz Çorba ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri	110
Tablo 3.37.	Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri	112
Tablo 3.38.	Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri	112
Tablo 3.39.	Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri ..	113
Tablo. 3.40.	Model Toz Çorba ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları	115
Tablo 3.41.	Model Toz Çorba ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları	117
Tablo 3.42.	Model Toz Çorba ürünüde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	118
Tablo 3.43.	Model Toz Çorba ürünü için oluşturulan GİA değerleri	119
Tablo 3.44.	Model Toz Çorba ürünü için belirlenen GID değerleri ve sıralaması ...	120
Tablo 3.45.	Model Toz Çorba ürünüde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri	121
Tablo 3.46.	Model Toz Çorba ürünüde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri	121
Tablo. 3.47.	Model Toz Çorba ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GID_0 değerlerine ait ANOVA tablosu	122
Tablo. 3.48.	Model Toz Çorba ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GID_T değerlerine ait ANOVA tablosu	123
Tablo 3.49.	Model Toz Çorba ürünüde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi	124
Tablo 3.50.	Model Toz Çorba ürünüde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	124

Tablo 3.51.	Model Toz Çorba ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_E değerleri	125
Tablo. 3.52.	Model Toz Çorba ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_E değerlerine ait ANOVA tablosu	126
Tablo 3.53.	Model Toz Çorba ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları	127
Tablo 3.54.	Model Toz Puding ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri	127
Tablo 3.55.	Model Toz Puding ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri	130
Tablo 3.56.	Model Toz Puding ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri	132
Tablo 3.57.	Model Toz Puding ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri	132
Tablo 3.58.	Model Toz Puding ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S_X) değerleri	132
Tablo. 3.59.	Model Toz Puding ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları	135
Tablo 3.60.	Model Toz Puding ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları	137
Tablo 3.61.	Model Toz Puding ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	138
Tablo 3.62.	Model Toz Puding ürünü için oluşturulan GİA değerleri	139
Tablo 3.63.	Model Toz Puding ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması	140
Tablo 3.64.	Model Toz Puding ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri	141
Tablo 3.65.	Model Toz Puding ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri	141
Tablo. 3.66.	Model Toz Puding ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_0 değerlerine ait ANOVA tablosu	142
Tablo. 3.67.	Model Toz Puding ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_T değerlerine ait ANOVA tablosu	143
Tablo 3.68.	Model Toz Puding ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi	144
Tablo 3.69.	Model Toz Puding ürününde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	145

Tablo 3.70.	Model Toz Puding ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_E değerleri	146
Tablo. 3.71.	Model Toz Puding ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_E değerlerine ait ANOVA tablosu	146
Tablo 3.72.	Model Toz Puding ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları	147
Tablo 3.73.	Model Aşure ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri	148
Tablo 3.74.	Model Aşure ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri	149
Tablo 3.74.	Model Aşure ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri (devamı)	150
Tablo 3.75.	Model Aşure ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri	152
Tablo 3.76.	Model Aşure ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri	153
Tablo 3.77.	Model Aşure ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri	153
Tablo 3.78.	Model Aşure ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S_X) değerleri	154
Tablo. 3.79.	(a) Model Aşure ürün karışımına ait ortalama miktar deneysel sonuçları ve Taguchi metodu S/N oranları	156
Tablo. 3.79.	(b) Model Aşure ürününe ait CV(%) değerleri deneysel sonuçları ve Taguchi metodu S/N oranları	157
Tablo 3.80.	Aşure ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları	159
Tablo 3.81.	Model Aşure ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	160
Tablo 3.82.	(a) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİA normalize karar matrisi ..	161
Tablo 3.82.	(b) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİA uzaklık matrisi	162
Tablo 3.82.	(c) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİK değerleri	163
Tablo 3.83.	Model Aşure ürünü için belirlenen GİD ve sıralaması	164
Tablo 3.84.	Model Aşure ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri	165
Tablo 3.85.	Model Aşure ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri	165
Tablo. 3.86.	Model Aşure ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_0 değerlerine ait ANOVA tablosu	166

Tablo. 3.87.	Model Aşure ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD _T değerlerine ait ANOVA tablosu	167
Tablo 3.88.	Model Aşure ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi	168
Tablo 3.89.	Model Aşure ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları	169
Tablo 3.90.	Model Aşure ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD _E değerleri	169
Tablo. 3.91.	Model Aşure ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD _E değerlerine ait ANOVA tablosu	170
Tablo 3.92.	Model Aşure ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları	171
Tablo 3.93.	Model Toz İçecek ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri	171
Tablo 3.94.	Model Toz İçecek ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri	174
Tablo 3.95.	Model Toz İçecek ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M _L) değerleri	176
Tablo 3.96.	Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri	177
Tablo 3.97.	Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M _X) değerleri	178
Tablo 3.98.	Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S _X) değerleri ..	179
Tablo 3.99.	Model Toz İçecek ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi	180
Tablo 3.101.	Model Toz İçecek ürünü için oluşturulan GİA değerleri	182
Tablo 3.102.	Model Toz İçecek ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması ..	183
Tablo 3.103.	Model Toz İçecek ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD ₀ değerleri	184
Tablo 3.104.	Model Toz İçecek ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD _E değerleri	184
Tablo. 3.105.	Model Toz İçecek ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD ₀ değerlerine ait ANOVA tablosu	185
Tablo. 3.106.	Model Toz İçecek ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD _E değerlerine ait ANOVA tablosu	185

Tablo 3.107.	Model Toz İçecek ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları.....	186
Tablo 3.109.	Model Toz Çorba ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon.....	188
Tablo 3.110.	Model Toz Puding ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon.....	189
Tablo 3.111.	Model Aşure ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon.....	189
Tablo 3.112.	Model Toz İçecek ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon.....	190
Tablo 4.1.	Model Toz Ürünlerin farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları.....	211

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Tozların sınıfsal özellikleri	5
Şekil 1.2.	Mikserde toz gıda karışım profili.....	10
Şekil 1.3.	Karışım tipleri	11
Şekil 1.4.	Toz gıdaların karıştırılma mekanizmaları	18
Şekil 1.5.	Toz karıştırıcılarda karıştırma işleminin tipik grafiği	20
Şekil 1.6.	Toz karıştırıcılarda karıştırma sırasında meydana gelen temel ayrışma mekanizmaları.....	22
Şekil 1.7.	Alt-üst eden toz karıştırıcı tipleri	25
Şekil 1.8.	Yatay toz karıştırıcılar	26
Şekil 1.9.	Yüksek parçalayıcı karıştırıcılar	27
Şekil 1.10.	Vidalı toz karıştırıcılar	28
Şekil 1.11.	Akışkan yatak karıştırıcı	28
Şekil 1.12.	Statik toz karıştırıcılar.....	29
Şekil 2.1.	Tez çalışmasında kullanılan laboratuvar tipi toz karıştırıcılar	34
Şekil 2.2.	Numune alma sondası	34
Şekil 2.3.	Toz akış probunun cam kap ve dönm bıçak tasarımı	36
Şekil 2.4.	Toz akış cihazında kohezyon testine ait örnek mesafe-kuvvet grafiği	37
Şekil 2.5.	V-tipi mikser içerisinden numune alınan bölgeler	40
Şekil 2.6.	Model toz sütlaç ürününde şeker miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi	44
Şekil 2.7.	Model toz çorba ürününde tuz miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi	45
Şekil 2.8.	Model toz puding ürününde şeker miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi	46
Şekil 2.9.	Model toz içecek ürününde sitrik asit konsantrasyonunu belirlemek amacıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisi	48
Şekil 2.10.	Model toz içecek ürününde askorbik asit konsantrasyonunu belirlemek amacıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisi	48
Şekil 3.1.	Toz gıda ürünlerine ait ortalama partikül boyutu (elek) analizi sonuçları	60
Şekil 3.2.	Toz gıda örneklerinin kekleşme testinde kek yükseklik oranı değerleri....	64

Şekil 3.3.	Toz gıda örneklerinin PFSD testinde sıkıştırma katsayısı- döngü hızı grafiği.....	66
Şekil 3.4.	Toz gıda örneklerinin akış stabilite değerleri.....	66
Şekil 3.5.	PCA özdeğerler grafiği	69
Şekil 3.6.	a) PCA temel bileşen yükleri grafiği.....	70
Şekil 3.6.	b) PCA temel bileşen skorları grafiği	71
Şekil 3.7.	Hiyerarşik kümeleme analizinde elde edilen dendrogram grafiği	72
Şekil 3.8.	Model Bulgur karışımında karıştırma indeksi değerlerinin farklı mikser doluluk oranı ve mikser içine ürün yerleştirme yönünde 3 boyutlu gösterimi	78
Şekil 3.9.	Model Toz Sütlaç ürünlerinde bileşenlerin CV (%) değerlerinin değişimi	81
Şekil 3.10.	Model Toz Sütlaç ürünlerinde bileşenlerin ortalama miktarlarının olması beklenen değerlere göre durumu.....	82
Şekil 3.11.	Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları	88
Şekil 3.12.	Model Toz Sütlaç ürünüde Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerlerinin faktör/seviyelere bağlı değişimi.....	89
Şekil 3.13.	Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri..	91
Şekil 3.14.	Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri	92
Şekil 3.15.	Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	95
Şekil 3.16.	Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	95
Şekil 3.17.	Model Toz Sütlaç ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD _T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri.....	103
Şekil 3.18.	Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları	111
Şekil 3.19.	Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri	113
Şekil 3.20.	Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri.....	113
Şekil 3.21.	Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	116

Şekil 3.22.	Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	116
Şekil 3.23.	Model Toz Çorba ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD _T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri.....	122
Şekil 3.24.	Model Toz Puding ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları	131
Şekil 3.25.	Model Toz Puding ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M _X) değerleri	133
Şekil 3.26.	Model Toz Puding ürününe ait ki-kare ayırışma indeksi (S _X) değerleri ...	133
Şekil 3.27.	Model Toz Puding ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	136
Şekil 3.28.	Model Toz Puding ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	136
Şekil 3.29.	Toz Puding ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD _T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri	142
Şekil 3.30.	Model Aşure ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları.....	151
Şekil 3.31.	Model Aşure ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M _L) değerlerinin zamana bağlı değişimi	152
Şekil 3.32.	Model Aşure ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M _X) değerleri	154
Şekil 3.33.	Model Aşure ürününe ait ki-kare ayırışma indeksi (S _X) değerleri	155
Şekil 3.34.	Model Aşure ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	158
Şekil 3.35.	Model Aşure ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları	158
Şekil 3.36.	Model Aşure ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD _T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri	166
Şekil 3.37.	Model Toz İçecek ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları	175
Şekil 3.38.	Model Toz İçecek ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M _L) değerlerinin zamana bağlı değişimi	176
Şekil 3.39.	Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M _X) değerleri	178
Şekil 3.40.	Model Toz içecek ürününe ait ki-kare ayırışma indeksi (S _X) değerleri.....	179

GİRİŞ

Toz ürünler farmakoloji, kimya, metalürji, plastik ve gıda gibi pek çok sanayi dalında ana üretim prosesi içinde önemli bir yere sahiptir. Gıda sanayisinde taşıma, depolama, üretim ve tüketim aşamalarındaki kararlı yapılarından dolayı gıdalar farklı yöntemler ile toz forma dönüştürülmektedir. Toz ürünlerin üretim ve depolama süreçlerinde sergiledikleri davranışların bilinmesi olası problemlerin tahminlenmesine, zamanında ve etkin çözümler sunulmasına imkân sağlamaktadır.

Gıda üretim süreçleri içinde karıştırma işlemleri ürün kalitesini doğrudan etkileyen temel işlemlerden birisidir. Özellikle toz yapıdaki gıda ürünlerinin üretimi aşamasında homojen bir karışım elde edilmesi, ürünün duysal özelliklerinin yanı sıra yapısal ve besin öğeleri dağılımı açısından da kritik öneme sahiptir. Bu nedenle tozların fiziksel özellikleri (tanecik boyutu, yoğunluk, nem, toz akışkanlığı vb.) ile karıştırma ekipmanlarının çeşidi ve yapısı, karışım kalitesini etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan V-tipi toz mikserler, özellikle basit yapısı ve istenilen boyutta tasarlanabilmesi nedeniyle birçok toz gıda üretimine uygun olup, temizlenmesi ve kullanımı kolay, homojen karışımların elde edilmesinde tercih edilen ekipmanlardan birisidir. Sanayide kullanılan tipleri genel olarak sabit hızda çalışmaktadır. Üreticiler tarafından karıştırılan malzemenin özellikleri bilinmeden homojen bir yapı sağlamak amacıyla karışım süresi uzun tutulmaktadır. Bu durum üreticiler açısından fazla zaman, işçilik ve enerji kaybına neden olmakta ve sonuçta işletme kapasitesi verimli kullanılamamaktadır. V-tipi mikserler, geometrik olarak iki konik şeklin belirli bir açıyla birleşmesinden oluşmakta ve kendi ekseninde dönmesiyle malzemelerin kayma kuvveti etkisinde karışmasını sağlamaktadır. Bu tasarım, belirli avantajlar sunmakla birlikte, karışım süresinin belirlenmesi, mikserin doluluk oranı ve dönüş hızı gibi birçok parametrenin optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu parametrelerin doğru bir şekilde

belirlenememesi, ürünün kalitesinde (homojenliğinde) sapmalara ve dolayısıyla kalite kontrol sorunlarına neden olabilmektedir. Bu karıştırıcıların en ideal karışım koşullarının belirlenmesi, standart ürün elde etme ve proses verimliliği açısından önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünya çapında gıda sanayisindeki ürün çeşitliliğinin artması, çok bileşenli toz karışımlarının üretimini yaygınlaştırmaktadır. Bu nedenle bu alandaki karıştırma teknolojilerinin performansının iyileştirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Özellikle bebek mamaları, sporcu yiyecek ve içecekleri, diyet ürünleri ve toz içecek gibi ürünlerde, içeriklerin homojen dağılımı ürün kalitesi ve yasal düzenlemelere uyum zorunluluğu nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, toz karışım parametrelerinin sistematik olarak incelenmesi ve karışıma etki eden faktörlerin nicel ve nitel analizlerle ortaya konulması, V-tipi mikserlerde karışım verimliliğinin artırılması ve proses parametrelerinin optimizasyonu hem akademik araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar açısından stratejik bir öncelik taşımaktadır. Bu bağlamda matematiksel modelleme teknikleri, karışım süreçlerinin anlaşılması ve optimize edilmesi noktasında önemli araçlar sunmaktadır.

Gıda tozlarının özelliklerini araştıran çalışmalar yetersiz olup, son yıllarda gerek üreticiler ve gerekse araştırmacılar bu eksiği gidermek, tozları daha iyi anlamak, tanımlamak ve kontrol edebilmek amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar tozların üretim, depolama, taşıma, paketlenme, karıştırma, sıkıştırma ve yeni ürünler oluşturma aşamalarında davranışlarının incelenmesi ve kontrol edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Toz davranışlarının bilinmesi silo, tank, taşıyıcı ve karıştırıcı dizaynı ile ambalaj malzemesi tasarlanması amacıyla da önemli veriler sunmaktadır. Tozların sahip oldukları genel özelliklerin yanı sıra çevresel faktörlerin etkisinin de araştırılması gerekmektedir.

Bu tez çalışması, toz gıda karışımlarının üretiminde kullanılan V-tipi mikserlerde karışıma etki eden temel proses parametrelerini ve malzeme özelliklerini inceleyerek, optimum karışım koşullarının belirlenmesi ve bu süreçlere ilişkin matematiksel modellerin geliştirilmesini amaçlamıştır. Çalışma, karışım homojenliğine etki eden başlıca faktörlerin belirlenmesi, bu faktörler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması ve deneysel verilere dayalı olarak karışım sürecinin tahmin edilebilirliğinin artırılması

yoluyla, gıda mühendisliği bilimine hem bilimsel hem de pratik katkılar sunmayı hedeflemiştir.

Çalışma kapsamında, gıda sektöründe sıklıkla kullanılan çeşitli toz ve granül maddelerin toz akış özellikleri ve bu özellikleri etkileyen faktörler araştırılmıştır. Karışıma etki eden nem, yığın yoğunlukları, partikül boyutu ve toz akış özellikleri tespit edilmiş, parametreler arasındaki ilişki korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bu ürünler Temel Bileşenler Analizi ile Hiyerarşik Kümeleme Analizi ile sınıflandırılmış ve incelenmiştir.

Çalışmada ayrıca v-tipi toz karıştırıcılarda granüler ve toz formda bulunan gıda bileşenlerinin karışım sürelerinin incelenmesi ve matematiksel yaklaşımlarla modellenmesi sağlanmıştır. Bulgur karışımı, toz sütlaç, toz puding, toz çorba, aşure ve toz içecek model ürünleri ile karışıma etki eden parametreler incelenmiştir. Bulgur karışımında karışımı etkileyen ve kontrol edilebilen faktörler olan karışım süresi ve karışım hızı, karıştırıcının doluluk seviyesi ile ürünlerin karıştırıcı içerisine hangi yönde yerleştirildiği Cevap Yüzey metodu ile incelenmiştir. Toz içecek ürününde iki farklı V-tipi mikser ve bir mutfak tipi robot kullanılarak karışım süresine mikser tipinin etkisi analiz edilmiştir. Diğer model ürünlerin karışımları süre ve mikserin doluluk seviyesi arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Deneysel sonuçların modellenmesinde Taguchi metodu ile Taguchi ve Entropi ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre karışımların optimum seviyeleri karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması sonucunda toz ve granüler ürünlerin karışımları ve bu karışımlara etki eden faktörler incelenmiş, karışımların optimum durumlarının tespitinde yeni matematiksel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda, elde edilen bulgular hem teorik bilgiye katkı sağlamış hem de gıda sektöründeki toz karışım proseslerinin incelenmesine yönelik öneriler sunmuştur.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

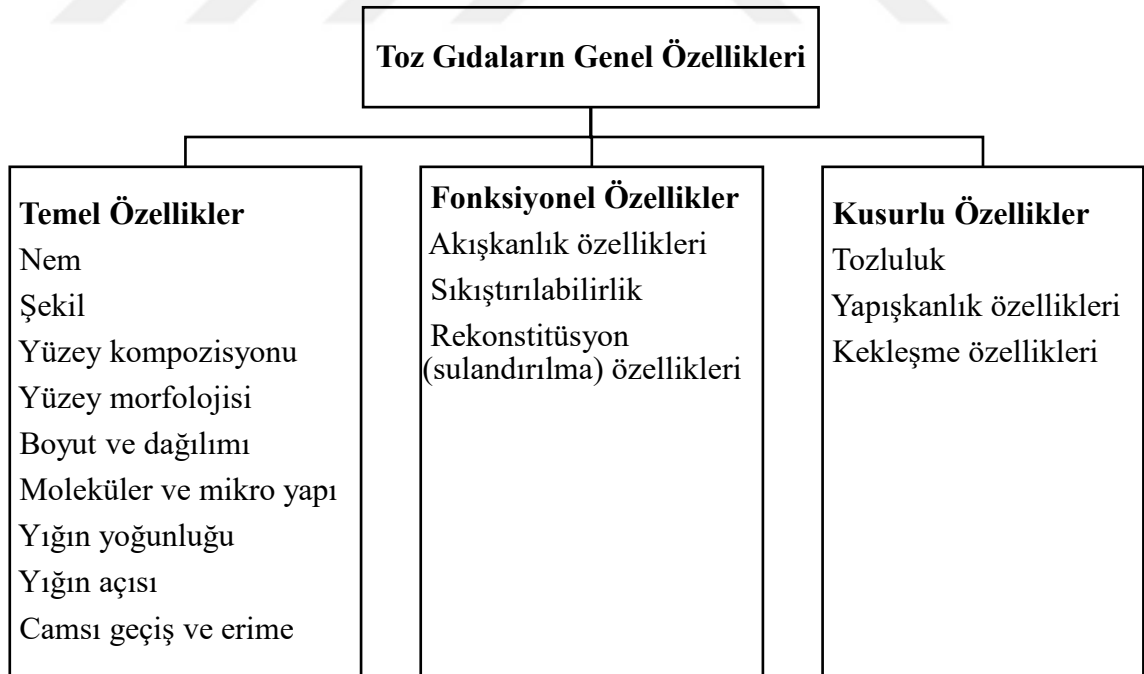
1.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri

Toz gıdalar, birbirinden ayrık, boyutları nanometre boyutundan milimetreye kadar uzanan taneciklerden oluşan katı durumdaki maddelerdir. Ortalama tanecik boyutu 20 mikron olan partiküllerden oluşan 1 g toz yaklaşık 10^8 adet tanecik içermektedir. Partiküllerden oluşan bir sistem ister toz ister granül ve isterse un olarak isimlendirilsin “toz” ana başlığı altında gösterilmektedir (Şekil 1.1). Bu terimler genel olarak maddenin partikül boyutuna veya kaynağına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Granüler maddeler mm boyutuna sahipken, ince öğütülmüş tozlar $100\ \mu\text{m}$ ’den daha küçük tanelidirler [1,2].

Tozlar, sıvı veya katı maddelerden kurutma, parçalama, öğütme, ezme, çöktürme veya kristalizasyon yöntemiyle elde edilirler [1,3]. Tanecik boyutu ve dağılımı, şekli, yüzey özellikleri ve yoğunluğu birbirinden oldukça farklı olabilen tozların bu özellikleri hammadde kaynağına ve toz üretim tekniğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu sayede akışkanlık, yığın yoğunluğu, kullanım kolaylığı, karışma/ayırışma, sıkıştırılabilirlik ve yüzey aktivitesi gibi fonksiyonel özellikleri açığa çıkmaktadır. Tozların genel özellikleri temel, fonksiyonel ve kusurlu olmak üzere üç ana başlık altında toplanmakta [1] ve Tablo 1.1’de listelenmektedir. Fonksiyonel özellikler tozun ürün oluşturmada kullanımına ait bilgiler içerirken temel özelliklerden direk etkilenmektedir. Kusurlu özellikler ise istenmeyen durumları ifade etmekte ve tozların kullanımını kısıtlayıcı nitelik taşımaktadırlar.

Tablo 1.1. Toz gıda kategorisinde kullanılan terimler ve özellikleri

Terimler	Tanecik boyutu (μm)	Örnek	Özellikler
Toz	İnce - 50-200	Kahve, renklendiriciler vb.	Oldukça yapışkan, yüksek yığın yoğunluklu
Granüler	İri - 200-4000	İstant süt, instant kahve, ırmık, sarımsak	Serbest akış, düşük yığın yoğunluklu
Un	100-5000	Tahıl unları, kabuklu yemiş unları, soya unu	Düzensiz tanecik boyutlu, iri taneli, az akıcı
Pudra	5-100	Her türlü toz	İstenen boyuttan daha ince, proses sırasında kendiliğinden uçuşan



Şekil 1.1. Tozların sınıfsal özellikleri

Toz gıdalar, kristal, amorf veya ikisinin karışımı olarak farklı yapılarda olabilmektedirler. Kristal yapıdaki şeker, tuz ve organik asitler gibi tozlar higroskopik (nem tutan) olmayan, kararlı ve kolayca akabilen yapıdadırlar. Kristal yapı moleküllerin periyodik olarak sıkıca dizilimleri sonucu oluşmakta ve en düşük enerji seviyesine sahip en stabil yapı olarak ifade edilmektedir. Dolayısı ile çözünmeleri amorf yapıdaki tozlara kıyasla daha yavaştır. Amorf yapılanma, yüksek ya da düşük molekül ağırlığına sahip karbonhidrat ve proteinlerde görülmektedir. Bu yapıdaki moleküller düzensiz, daha açık ve gözeneklidir. Bu nedenle, çevresel etkileşime açık olup uçucu maddeleri absorblama yeteneğine sahiptirler. Suyu kolayca emme yetenekleri bu açık uçlu amorf yapılarından kaynaklanmaktadır. Diğer bir yapısal form olan karışık yapı, kristal ve amorf yapının bir toz taneciğinde birlikte bulunması ile meydana gelmektedir. Nişasta amorf ve kristal yapıların bir arada bulunduğu karışık yapıya en iyi örnektir. Kristal yapının amorf yapıya göre daha az su absorbe etmesi özelliğinden faydalanmak üzere depolama sırasında daha kararlı bir yapı kazandırmak amacıyla tozlar kristalize edilmektedir [4].

Tozdan oluşan sistemlerde tozların çok çeşitli olan özelliklerini belirlemek amacıyla çok geniş bir teknoloji bulunmaktadır. Partikül özellikleri partikül boyutu, şekli, yoğunluğu, bileşimi ve yapısından oluşmakta iken yığın özellikleri arasında akışkanlık, yığın yoğunluğu, karışım kalitesi, ayrışma eğilimi ve tozluluk yer almaktadır. Ayrıca tozun nem içeriği hem partikül hem de yığın özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir [5].

Sanayi uygulamalarında partiküllerin sahip olduğu özellikler yığının sahip olduğu nitelikleri, işleme sırasındaki davranışlarını ve ürünün kalitesini direk etkilemektedir. Bu nedenle partikül ve yığın özelliklerinin bilinmesi kalite parametresi olarak kabul edilen özelliklerin bilinmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu özellikler proses esnasında neler yaşanacağı hakkında bilgiler sunmakta, prosesin bu nitelikleri nasıl etkileyeceği konusunda tahminlerde bulunulmasına olanak sağlamaktadır.

Toz gıdaların sahip olduğu nem içeriği oldukça önemli roller üstlenmektedir. Nem içeriğinin artması tozun kohezif özelliklerini artırmakta, duvar sürtünme ve sürtünme açısını etkilemektedir [6–8]. Ancak belli bir nem değerinin üstündeki değerler yağlayıcı (lubrikant) görevi üstlenerek tozun akışını kolaylaştırabilmektedir [9]. Bu özellik su moleküllerinin toz partikülleri arasındaki yağlanmayı artırmanın yanı sıra partiküller arası

boşluğu da artırarak van der Waals kuvvetlerinin göreceli etkisini azaltması nedeniyle ortaya çıkmaktadır [10].

Partikül boyutu ve partikül boyut dağılımı toz ürünlerin akışkanlık, sıkıştırılabilirlik, patlayabilirlik ve toksisite gibi birçok özelliğine etki etmektedir [5,11]. Partikül boyutu tozun temas alanını etkilemekte ve böylelikle partiküllerin kendi arasında ve tozu çevreleyen akışkan ile olan etkileşim derecesini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Partikül boyutu bir prosesin veya depolama ekipmanının nasıl dizayn edileceği, hangi tür hammaddenin kullanılması gerektiği, ürünlerin ne şekilde karıştırılacağı ve kekleşmeye maruz kalmadan ne kadar süre bekleyebileceği konusunda bilgiler sunmaktadır [12]. Tozların sahip olduğu yığın özellikleri partikül boyutu ve dağılımının yanı sıra partikül şekli ve nem içeriği ile ilişkilidir [13].

1.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri

Akışkanlık toz ve granüler maddelerin akış kabiliyeti olarak tanımlanmakta ve çok boyutlu bir özellik olarak tozun fiziksel özelliklerine göre değişmektedir [14]. Akışkanlık genel anlamda tozun hareket ettirilmesi ile ilgili bir kavramdır. Bu hareket paketlenmiş ve akışkan halde olmak üzere iki ana sınıfta incelenmektedir. Paketlenmiş halde tozlar herhangi bir akışkanla temas halinde olmayıp birbiri ile sıkı bir temas halindedir. Bu durumda iken sahip olunan kohezyon ve sürtünme nedeniyle akışa karşı direnç gösterilmektedir. Akışkan (veya asılı) durumdaki harekette ise tozlar bir akışkan sayesinde asılı halde bulunmaktadırlar. Bu harekete en iyi örnek akışkan yataklardır. Tozların akış özellikleri toz üretimi (kurutma, kristalizasyon, çöktürme, ezme), depolama (silolar, bunkerler, hazneler, ambarlar), taşıma (vida, kayış, döner valf) ve üretim (karıştırma, paketlenme, kaplama) süreçlerinde kullanılmaktadır [15]. Akışkanlık özelliği taşıma sırasında ve prosesin verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Toz sanayisinde akışı sağlamak ve kek oluşumunu engellemek ana hedef olarak görülmektedir [16]. Tozların bir araya gelerek büyük parçalar ve yığınlar oluşturması kekleşme ve yapışkanlık özelliklerinden kaynaklanmakta, dolayısı ile tozun fonksiyonelliğini kaybederek kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır [17]. Kekleşme hidrasyon ve kristalizasyon sonucu oluşmakta ve kusurlu bir özellik olarak ifade edilmektedir. Sıcaklık, bağıl nem, basınç gibi çevresel faktörler, partikül boyutu ve dağılımı, partikül şekli ve yapısı gibi partikül özellikleri ile depolama süresi tozların fiziksel kararlılığına etki etmektedir

[16,18]. Amorf halde toz partikülü içeren süttozu, şeker, nişasta, un ve peynir altı suyu tozu gibi ürünler [19] bu yapıları nedeniyle iki veya daha fazla partikülün temas ederek bir araya gelmeleri ve katı bir forma dönüşmeleri sonucu kek oluşturmaktadır [20,21].

Gıda tozları diğer gıda dışı tozlarla aynı niteliklere sahip olmalarına rağmen bileşiminde bulunan protein, şeker, yağ, mineral ve diğer biyolojik yapılar nedeniyle diğerlerinden ayrılmaktadır. Bu bileşenler, depolama sırasında tozların gösterdiği akış davranış özelliğini etkileyen ana faktörlerdir. Nem arttıkça tozun adezyon [22] ve kohezyon [23] özellikleri artmaktadır. Gıda sistemleri fiziksel ve kimyasal özellikleri zamanla değişen dinamik sistemlerdir [24]. Bu nedenle tozların akış özellikleri üretimden tüketime kadar geçen süre dahilinde değişebilmektedir [15].

Toz gıdaların akış davranış özelliklerinin belirlenmesinde çok farklı teknikler geliştirilmiş ve kullanılmıştır [25]. Bu teknikler içinde en bilinenleri Carr indeksi ve Hausner oranı [26,27], Jenike shear cell [28–30], dairesel kesme hücresi (annular shear cell) [31,32], yığın açısı [25,33,34], dönerli hücre (rotational cell) [29,30], halka kesme testi (ring shear tester) [35,36] ve toz akış cihazı/reometresi [37,38] olarak sıralanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde bulunan Carr indeksi (CI), Carr [39] tarafından ortaya konan ve ASTM (American Society for Testing and Materials) standart metodu olarak kabul edilen yöntem toz ürün sanayisinde kullanılan en yaygın tekniklerden biridir [40,41]. Carr indeksi dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları esas alınarak hesaplanan bir indeks değeridir. Yığın yoğunluklarını kullanarak tozların akışını belirleyen diğer yöntem Hausner oranıdır (HO). Bu terimin kaynağı Hausner [42] tarafından partikül boyutları aynı ancak şekilleri farklı (küresel, düzensiz ve pul şeklinde) üç bakır tozunun dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunluklarını ölçtüğü çalışmadır. Bu çalışma sonucunda tozun yapısı küresellikten ne kadar uzaklaşırsa sıkıştırılmış yığın yoğunluğunun dökme yığın yoğunluğuna oranı artış göstermektedir.

1.3. Toz Gıdaların Karıştırılma İşlemi

Tozların karıştırılması kimya, ilaç, petrokimya, gıda, plastik, metalurji, gibi pek çok endüstrinin önemli proseslerinden biridir. Karıştırma, iki veya daha fazla bileşenin birbiri içerisinde homojen olarak dağılması olarak tanımlanmaktadır. Tozların karıştırılmasında ana unsur homojen bir karışım elde etmektir. Eşit miktarda, aynı boyut ve yoğunlukta

partiküllerden oluşan bir karışım elde etmek istendiğinde teorikte ideal olarak belirlenen durumu pratikte elde etmek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle de rastgele olarak karışmış olan toz partikülleri homojen olarak kabul edilmektedir. Partiküllerin şekil, boyut, yoğunluk gibi özellikleri farklı olduğundan homojen bir karışım elde etmek de zorlaşmaktadır [43].

Gıda sektörünün en önemli alt gruplarından birisi toz gıda üretim teknolojileridir. Gıdaların stabilitesini artırmak ve uzun vadede kullanım imkânı sağlamak amacıyla pek çok sıvı ve katı formdaki gıda maddesi dehidre edilmekte veya toz forma dönüştürülmektedir. Toz gıdaların üretim, taşıma ve depolamada sağladığı kolaylıklar nedeniyle üretimi her geçen gün artmaktadır. İçerdiği düşük nem ve su aktivitesi sebebiyle uzun raf ömrüne sahip olması, mikrobiyolojik bozulmalara dayanıklı olması, taşıma-depolama sürecinin ve yönteminin kolay olması gıdaların toz formda üretiminin çeşitlenerek artmasını sağlamıştır. Toz gıda karışımları çok geniş bir yelpazede; un, şeker, tuz, nişasta, kakao, süttozu gibi ana bileşenlerin yanı sıra kıvam vericiler, renklendiriciler, aromalar, dolgu maddeleri, asitlik düzenleyiciler, emülgatörler gibi gıda katkı maddeleri ile kurutulmuş meyve-sebze parçacıklarının karışımı sonucu oluşturulur [44].

Toz gıdaların karmaşık akış davranış özellikleri, kimyasal bileşimi, hammadde kaynağı, doğal yapının heterojenliği, fizikokimyasal özellikleri gibi pek çok nedene bağlı olarak değişmektedir. Model olarak belirlenen bir toz gıda ürünü homojen, küresel, hareketsiz ve monodispers olarak kabul edilirken gerçek bir toz gıda şekil, boyut ve yapı açısından heterojenlik göstermektedir. Bu nedenle, toz gıda prosesi öncelikle homojen bir yapı kazanmak için karıştırma işlemine ve ayrışmanın oluşmaması için kontrol şartlarının optimize edilmesine gereksinim duymaktadır.

Gıda sanayisinde tozların karıştırılma işlemi esas olarak konsantrasyon, renk, tat, koku veya yapı açısından standart bir ürünü en az süre, güç ve işçilikle yani minimum maliyetle oluşturmayı hedeflemektedir. Tozların karıştırılma mekanizmalarını anlamak ve değerlendirmek sıvılara kıyasla daha zor olmaktadır. Toz gıdalar kompleks yapıda olup karıştırma sırasında özellikleri değişebilmektedir. Toz gıdaların karıştırılması genel olarak süre, karıştırıcının dizaynı (boyutu, şekli, dönme hızı vb.) ve karıştırılan tozun çeşidine bağlı olarak farklılaşmaktadır [45].

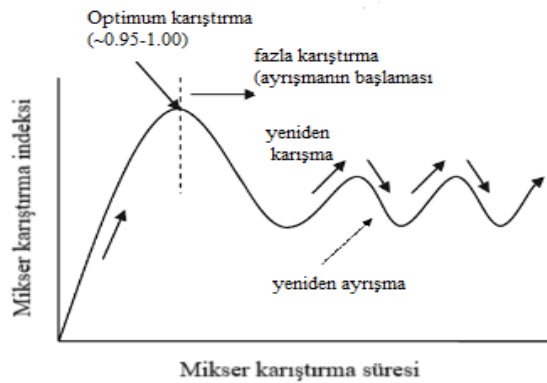
1.3.1. Toz Gıdalarda İdeal Karışımın Sağlanması

Bir karışımın ana hedefi kaliteyi elde etmektir. Ancak toz sanayisi söz konusu olduğunda kalite göreceli bir kavram niteliği kazanmakta ve kalitenin uluslararası kabul edilebilir bir tanımı yapılamamaktadır. Temelde homojen bir yapı elde etmeyi amaçlayan toz karışımlarda tozların çeşitliliğine bağlı olarak genel bir metodoloji geliştirilememekte veya homojen karışımın analizi tüm tozlar için geçerli kılınamamaktadır. Homojen olarak kabul edilen bir toz karışımında bileşenlerin her birinin uniform bir dağılıma sahip olması ve konsantrasyonlarının zamanla değişmemesi beklenmektedir [46]. Karışımı etkileyen faktörler;

- Partikül boyutu, şekli ve yoğunluğu,
- Karıştırıcının uygunluğu,
- Tozların yığın oluşturma eğilimleri
- Tozların nemi, yüzey ve akış özellikleri

olarak özetlenmektedir [47].

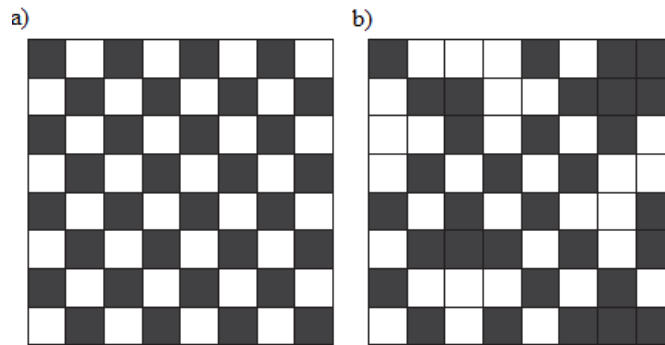
Genel olarak boyut, şekil ve yoğunluk bakımından benzer tozlar iyi bir karışım sağlanmasına olanak tanımaktadır. Ancak bu özelliklerin farklılaşması ayrışmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla tam bir karışım elde etmek ayrışmanın engellenmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrışma, karışma ile bir yarış içinde bulunmakta ve ideal karışıma ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle karışımın kalitesi karışma ve ayrışma arasındaki dinamik dengeye bağlı olarak değişmektedir. Şekil 1.2 ideal bir karışım profilini [47] göstermektedir.



Şekil 1.2. Mikserde toz gıda karışım profili

Pek çok toz gıda ürünü farklı kompozisyonlardaki iki veya daha fazla partiküler maddenin karışımı (örneğin; toz içecekler, toz kek karışımları veya toz dondurma karışımları) halinde bulunmaktadır. Bu karışımlar iri partiküllü (şehriyeli toz çorba karışımı vb.) olabildiği gibi kurutulmuş küçük et veya sebze parçacıklarını da içerebilmektedir.

İki bileşenden oluşan bir karışımdan örnekler alındığında, karışım homojen ise örneklerin her birindeki bileşen kompozisyonunun aynı olması gerekmektedir. Şekil 1.3.a homojen, %50 siyah ve %50 beyaz partiküllü fakat rastsal olmayan bir dağılımı göstermektedir [46]. Bu karışım her birinde 16 partikül olacak şekilde eşit parçalara bölündüğünde 8 siyah ve 8 beyaz partikül içermekte ancak böyle düzenli bir dağılımın gerçekte oluşması çok mümkün görünmemektedir. Genel olarak, bir karıştırıcının elde edebileceği en iyi durum Şekil 1.3.b'de gösterildiği gibi, beyaz partikülleri rastgele dağıtmaktır. Bu durumda karşımıza çıkan 16 partiküllü örnekler farklı sayıda beyaz partikül (7,7,8,10) içermektedir. Bu durumda da ortalama 8 beyaz partikül bulunmaktadır ancak karışımdan alınan tek bir örnek incelendiğinde karışımın homojen olmadığını ve daha fazla karıştırmanın bu durumu değiştirmeyeceğini gösterebilmektedir [48].



Şekil 1.3. Karışım tipleri a) Rastsal olmayan dağılım, b) Rastsal dağılım

Karışım prosesinin tamamlanması alınan tüm örneklerin karışım ile aynı oranda bileşenleri içerdiği durumda söz konusu olmaktadır. Ancak Şekil 1.3.a'da gösterilen ideal karışıma ulaşmak neredeyse imkansızdır. Dolayısıyla Şekil 1.3.b'de sembolize edilen

durum alınan her bir örnek aynı miktarda bileşen içermese de tamamen rastsal yani istenen karışımı ifade etmektedir.

1.3.2. Toz Gıda Karışımlarının Kalitesinin Belirlenmesi için Örnekleme

Toz karışım işleminin kalitesi incelenmek istendiğinde örnekleme yapmak önemli bir rol kazanmaktadır. Bir örnek, karışımı temsil eder nitelikte olmalı ve örnekleme sonrası işlemler bu örneğin içeriğini değiştirmemelidir.

Örnekleme istatistiksel bir özellik taşıdığından, saf bir matematiksel yaklaşımı izleyen örnekleme prosedürleri sanayide pratikte uygulanabilir olamamaktadır. Bir örnekleme ve analiz sürecinin ardından elde edilen sonuçlar örnekleme yöntemi, örnek sayısı, örnek miktarı ve örnek alınan bölge gibi pek çok nedene bağlı olabilmektedir. Dikkatli bir şekilde yapılmayan örneklemden çıkacak sonuçlar anlamsız kalacaktır.

İstatistiksel sonuçlar örnek sayısı arttıkça sonuçların güvenilirliğinin arttığını göstermektedir. Sonsuz sayıda alınacak örnekler, karışımı en iyi ifade eden durum olmakta yani tüm bir karışımı örneklemek en doğru sonucu vermektedir. Ancak bu durum mantıksız ve uygulanamaz olduğundan pek çok karışım işlemi için güvenilir sonuçlara 50’den fazla veya 20’den az olmayan örnek sayısı ile ulaşılması hedeflenmektedir [45]. Örneklem sayısının bazı literatürlerde 5-15 [49], bazılarında ise 25’ten az olmaması [50] tavsiye edilmektedir. Örneklem sayısı karışım ve karıştırıcı türüne, örnek alma yöntemine, toplam karışım miktarına, analiz yöntem ve maliyetine bağlı olarak değişmektedir [49]. Dolayısıyla örnek sayısını belirlemede sistematik bir yöntemden bahsedilememektedir. Örnek sayısı ile birlikte örneklerin rastgele seçilmiş olması ve örnek miktarı da önem taşımaktadır. Örneğin, tek bir partikülün analizi, karışımın gerçekleşmediğini gösterirken, tüm karışımın bir örnek olarak analiz edilmesi de mükemmel karışım sağlandığı yönünde yanlış sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu iki uç örneklem miktarı pratikte uygun olmadığından, bu değerler arasında yer alan ve “inceleme ölçeği” veya “karakteristik örnek miktarı” olarak ifade edilen miktar ürünün kullanımına uygun olarak alınacak örnek boyutunu tanımlamaktadır [45]. Sonuç olarak, karışımın kalitesini incelemeye uygun bir örnekleme yönteminin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.3.3. Toz Gıda Karışımlarının Kalitesi

Toz örneklerin şekil, renk, konsantrasyon vb. kriterleri arasında meydana gelen farklar bir sapma meydana getirmektedir. Bu sapmayı ifade etmek amacıyla çeşitli tanımlamalar kullanılmaktadır. Karışımın derecesini ortaya koymak amacıyla 30 farklı kriterden bahsedilmektedir [51]. Tozların ayrışma eğilimleri farklılık gösterdiğinden optimum karışım süresi veya karışımın tamamlanma göstergesi göreceli bir kavram niteliği taşımaktadır.

Örnekler arasında meydana gelen sapmayı tanımlamak amacıyla kullanılan ifadelerden ilki 1952 yılında ayrışma yoğunluğu (segregation intensity) S, homojeniteyi ayrışma odaklı bir terim olarak ortaya koymuştur [52]. Bu tanıma göre S değeri 1 iken tamamen ayrılmış karışımı, 0 iken tam rastsal karışımı ifade etmektedir.

Karışımın durumunu açıklamada en çok kullanılan terimler ortalama ve standart sapma değerleridir. Karışımından alınan N adet örnek içinde bileşenlerden birinin fraksiyonu analiz edilmekte ve bu bileşene ait N adet örneğin aritmetik ortalaması (fraksiyonların toplamının örnek sayısına bölünmesi) $\bar{x}$ olarak simgelenmektedir.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Standart sapma s, ve varyans s^2 verilerin aritmetik ortalamaya göre nasıl bir dağılım gösterdiğini anlatmaktadır ve aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır. İdeal karışımlarda standart sapma değeri küçüktür.

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Denklemlerde, s^2 varyans, s standart sapma, N alınan örnek sayısı ve X_i karışım içindeki X bileşeninin belirlenen miktarını ifade etmektedir.

Tek başına standart sapma değeri bir anlam ifade etmezken, alt ve üst limit değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu limit değerler tam ayrılmış karışım için s_0 ve tam rastsal karışım durumu için s_r olarak sembolize edilmektedir. Dolayısıyla minimum

standart sapma değeri en iyi karışımın gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkmakta ve s_r değerine eşit olmaktadır. Ayrıca karışım stokastik olarak düzenli bir şekilde karışmış ise s_r değeri 0 olacaktır. 1954 yılında Lacey [53] bu limit değerleri kullanarak günümüzde karışımın derecesini belirlemede en çok kullanılan değer olan karıştırma indeksini (mixing index) M , tanımlamıştır. Buna göre M_L :

$$M_L = \frac{s_0^2 - s^2}{s_0^2 - s_r^2} \quad (4)$$

Denklemde s_0^2 tam ayrılmış karışım varyansını, s_r^2 rastsal karışım varyansını, s^2 ise herhangi bir karışım sonunda elde edilen varyansı ifade etmektedir. Denklemin pay kısmında yer alan değer karışımın ne kadarının gerçekleştiğini gösterirken, payda kısmındaki değer ne kadar karışımın gerçekleşebileceğini ifade etmektedir. Lacey karıştırma indeksi değeri (M_L) 0 iken tam ayrılmış, 1 iken tam karışmış karışım anlamına gelmektedir. Pratikte elde edilen M değerleri 0.75-1 arasında değişmektedir. Bu nedenle Lacey karıştırma indeksi değeri karışımın derecesini belirlerken tam anlamıyla bir ayırt etme sağlamamaktadır [54]. Ayrıca pratikte s değerinin, az karışmış bir karışım için bile olsa, s_r değerine s_0 değerinden daha yakın olduğu ifade edilmektedir.

İki bileşenden oluşan bir toz karışım için teorik olarak üretilen varyansa ait alt ve üst limitler:

$$a) \text{ Üst limit (tam ayrılmış karışım) : } s_0^2 = \bar{X}(1 - \bar{X}) \quad (5)$$

$$b) \text{ Alt limit (tam rastsal karışım) : } s_r^2 = \frac{\bar{X}(1-\bar{X})}{n} \quad (6)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemlerde yer alan $\bar{X}$ ve $(1 - \bar{X})$ ifadeleri iki bileşene ait kütle fraksiyonlarını, n ise her bir örnekteki partikül sayısını göstermektedir. Karışıma ait gerçek varyans değeri bu iki limit arasında değişmektedir [54].

Bir bileşen veya karışımındaki partikül sayısı n ise standart partikül boyutuna sahip olduğu varsayıldığında aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$n = m / [\rho_p V_p] \quad (7)$$

n ; partikül sayısı

m , kütle

ρ_p , partikül yoğunluğu

V_p , partikül hacmini ifade etmektedir.

İkili karışımlar için bu indeks değeri sıklıkla kullanılmakta ise de gerçekte toz karışımlar pek çok bileşenden meydana gelmektedir. Bu amaçla ki-kare (X^2) istatistiği çoklu bileşenler için önerilmektedir [55].

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} \quad (8)$$

X^2 : ki-kare istatistiği

O : gözlenen değerler

E : olması gereken (beklenen) değer olarak ifade edilmektedir.

X^2 istatistiğinin örnek sayısının 50'den az olduğu durumlarda kullanılması, dağılımın normalden uzaklaşması ve X^2 dağılımına yaklaşması nedeniyle tavsiye edilmektedir [54].

Bu durumda alt ve üst limitler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\text{alt limit} : \sigma_L^2 = \frac{s^2(N-1)}{X_\alpha^2} \quad (9)$$

$$\text{üst limit} : \sigma_U^2 = \frac{s^2(N-1)}{X_{1-\alpha}^2} \quad (10)$$

burada α anlamlılık düzeyini [%90 güven aralığı için $\alpha = 0.5(1-90/100) = 0.05$, % 95 güven aralığı için $\alpha = 0.5(1-95/100) = 0.025$ değeri almaktadır] ve N örnek sayısını ifade etmektedir. Alt ve üst limitler için tanımlanan X^2 , X_α^2 ve $X_{1-\alpha}^2$ değerleri X^2 dağılım tablosu kullanılarak belirlenmektedir [54].

İkiden fazla sayıda bileşen içeren karışımlarda karışımın kalitesi ayrışma indeksi (S_x) ile belirlenmektedir [55].

$$S_X = \left(\frac{X_o^2 - X_r^2}{X_s^2 - X_r^2} \right) \quad (11)$$

S_X : ki-kare ayrışma indeksi

X_o^2 : gözlemsel (deneysel) ki-kare değeri

X_r^2 : olması beklenen ki-kare değeri

X_s^2 : tam ayrılmış durumdaki ki-kare değeri

S_X değeri 0-1 arasında değişmekte ve tam ayrılmış durumda iken 1, homojen karışım durumunu ifade eden rastsal karışım halinde 0 değeri almaktadır.

Ki-kare değerleri kullanılarak geliştirilen ve Lacey karıştırma indeksinin ki-kare istatistiğine uyarlanması [56] ile elde edilen ki-kare karıştırma indeksi (M_X) aşağıdaki gibi denklem ile hesaplanmaktadır.

$$M_X = \left(\frac{X_o^2 - X^2}{X_o^2 - X_r^2} \right) \quad (12)$$

M_X : ki-kare karıştırma indeksi

X_o^2 : başlangıçtaki ki-kare değeri

X_r^2 : olması beklenen ki-kare değeri

X^2 : gözlemsel (deneysel) ki-kare değeri olarak ifade edilmektedir.

Lacey karıştırma indeksine benzer şekilde M_X değeri de 0-1 arasında değişmekte ve rastsal karışım halinde en büyük değer olan 1, tam ayrılmış durumda ise en düşük 0 değerini almaktadır.

Çoklu bileşenlerin optimum karışım süresini belirlemek amacıyla tavsiye edilen diğer yöntem ise bileşenlerden birinin kilit bileşen olarak seçilmesidir. Böylece çoklu karışım ikili karışıma benzetilmekte ve ikili bileşenler için kullanılan tanımlamalar ve denklemler bu kilit bileşene uyarlanarak hesaplamalar yapılmaktadır [57].

1.3.4. Toz Gıda Karıştırıcılarında Karışım Hızı ve Karışım Süresi

Toz gıdaların karışım hızı diğer hız proseslerinde olduğu gibi itici bir kuvvetin varlığı ile doğru orantılıdır. Karıştırma indeksi M , karışımın dengeden ne kadar uzakta olduğunun bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla çok kısa karışım sürelerinde karıştırma indeksinin değişim hızı $1-M$ değeri ile doğru orantılı olarak;

$$dM / dt = k [1 - M] \quad (13)$$

denklemini ile tanımlanmaktadır. Burada k , hız sabitini (karıştırıcı tipi ve dönme hızı, tozların yapısı gibi özelliklerle değişen), t ise karışım süresini ifade etmekte olup, belirlenen bir karışım derecesine ulaşmak için gerekli olan süreyi tahminlemek amacıyla da kullanılmaktadır. Bu denklemin $t = 0$ ile $t = t$ arasında integrali alındığında M değeri 0 ile M arasında değişmekte ve

$$[1 - M] = e^{-kt} \quad (14)$$

veya

$$M = 1 - e^{-kt} \quad (15)$$

olarak ifade edilmektedir. Karıştırma indeksi M 'in dengedeki değeri 1 olmakta, ancak pratikte $M=0.95$ olarak kullanılmaktadır [58]. Denklem 13 limitler dahilinde yeniden düzenlenip integrali alındığında;

$$t = 1/k [\ln (1 - M_0) / (1 - M)] \quad (16)$$

veya Denklem 15 kullanılarak;

$$t = \ln(M) / k \quad (17)$$

denklemleri ile karışım süresini tahminlemede kullanılmaktadır [47].

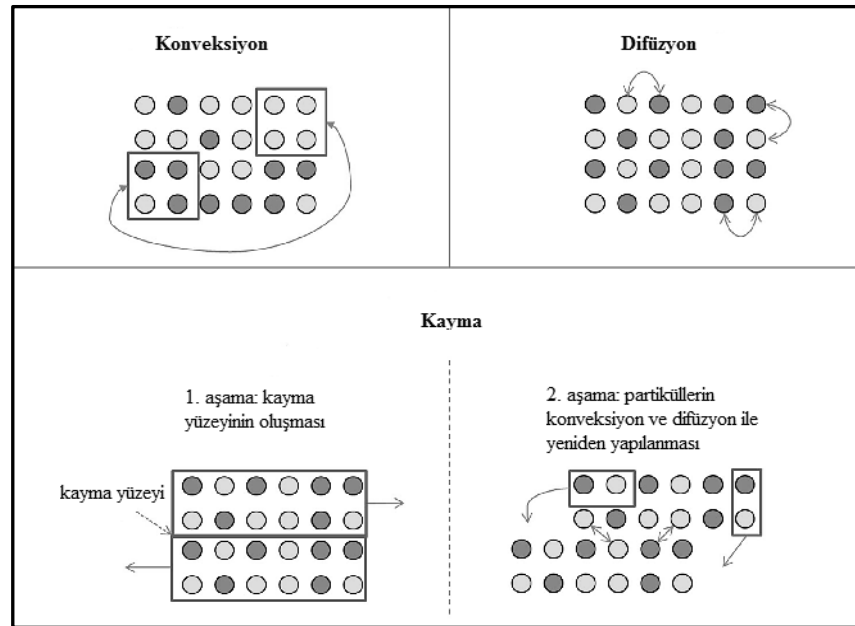
1.3.5. Toz Gıda Karıştırıcılarında Karışım Mekanizmaları

Karıştırma işlemi karıştırıcı içindeki toz parçacıklarını harekete geçirmek anlamına gelmektedir. Bu hareketlenmeyi sağlamak için karıştırıcının hareket etmesi, karıştırıcı içinde yer alan pedal, mil veya benzeri bir yapının hareketi, yerçekimi kuvvetinin etkisi

gibi dışarıdan sağlanan bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Tozlar sahip oldukları kimyasal ve mekanik özellikleri ile bu etkilere esas hedef olan karışma ya da gruplaşma/ayırışma şeklinde farklı cevaplar verebilmektedirler [59]. Tozların karışım mekanizmaları konvektif, difüzyon ve kayma (shear) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [53].

1.3.5.1. Konvektif Karışım

Bu karışım mekanizmasında tozlar yığınlar halinde karıştırıcının içinde bir yerden bir yere hareket ederler (Şekil 1.4) [59]. Oluşan yığınlar karıştırıcının geometrisine bağlı olmamakla birlikte akışkan mekaniği ile de ilişkili değildir [60]. Konvektif mekanizmada hareket genellikle karıştırıcı içinde bulunan bir pedal veya mil, ya da merkezkaç kuvvetinin etkisiyle oluşmaktadır. Konveksiyon, karıştırıcı içindeki ayrışmanın yoğunluğunu ve ölçeğini hızlı bir şekilde düşürerek homojen bir yapı kazandırmaktadır. Böylelikle parçacıklar arasındaki yüzey alanı artmakta ve yer değiştirme meydana gelmektedir [61]. Konvektif mekanizma kesikli sistem için oldukça uygun olsa da sürekli sistemler için istenmeyen durumların meydana gelmesine neden olabilmektedir [54].



Şekil 1.4. Toz gıdaların karıştırılma mekanizmaları

1.3.5.2. Difüzif Karışım

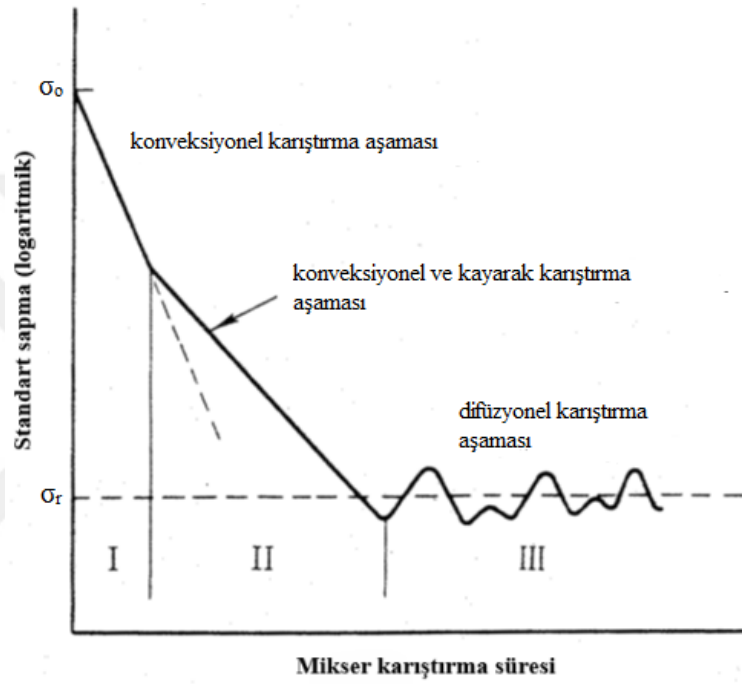
Bu mekanizma daha çok bir ya da çok az sayıda partikülün hareketini tanımlamaktadır. Genel olarak ayrılmış halde bulunan bölgelerde karıştırıcı milin toz yığınının girmesi, ya da partikül/partikül veya partikül/yüzey etkileşimi sonucu oluşmaktadır [59]. Akışkanlar mekaniği için var olan ve kendiliğinden meydana gelen moleküler difüzyon tozlar için söz konusu değildir. Tozların difüzyon ile karıştırılması ancak titreşim, sallama, alt üst etme vb. mekanik bir etki sonucu meydana gelmektedir [62]. Karışımından önce hareketsiz halde bekleyen toz ürünler karıştırıcının hareket etmesiyle yüzeydeki taneciklerden başlamak üzere hareket etmekte ve partiküllerin çarpışması ya da interpartikül hareketi sonucu Şekil 1.4'te görüldüğü gibi rastgele bir karışım meydana getirmektedir [60]. Örneğin, küçük tanecikli tozların büyük tanecikler arasından süzülerek kendi yığınının ayrılması ve yeni yığınlara katılması difüzif karışımın varlığı ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca karıştırıcı içindeki pedalların yerçekimi veya dönmenin etkisiyle önündeki bir toz yığınını itererek başka yığınlara katması da difüzif karışıma örnek olarak gösterilmektedir [61].

1.3.5.3. Kayma ile Karışım

Farklı hızlara sahip toz tanecikleri arasındaki momentum değişimi bu mekanizmanın temelini oluşturmaktadır [45]. Toz partiküllerinin kümeleşmesi ile oluşan yığınlar arasında yüksek hız gradyanı söz konusu ise dar bir bölgede kayma yüzeyi oluşmakta ve tanecikler teker teker bir yüzeyden diğerine hareket etmeye başlamaktadırlar [61]. Bu yüzeylerin dışında partiküller bloklar halinde hareket etmekte olup konvektif karışım mekanizması etkin olmaktadır. Dolayısıyla bir karıştırıcı içinde kayarak sağlanan karışımı konvektif karışımından ayırt etmek zorlaşmaktadır [61,63]. Bu karışım mekanizmasının kesikli ve sürekli proseslerin her ikisi için de elverişli olduğu ifade edilmektedir.

Karışım mekanizmaları tanımlanırken her ne kadar farklı zaman dilimlerinde meydana geldikleri ifade edilse de proseste tüm mekanizmalar eş zamanlı ya da birbiriyle etkileşim içinde bulunarak karışımı sağlamaktadır. Bir tekne şeklinde içinde sarmal şerit bulunan bir karıştırıcıda tamamıyla konvektif karıştırmadan bahsedilirken ribbon karıştırıcıda difüzyon etkin mekanizma olarak karışımıza çıkmaktadır [45]. Karıştırma işlemi tipik olarak Şekil 1.5'te gösterildiği gibi, karışımın derecesini ifade eden özelliğin (standart

sapma vb.) logaritmik değerlerine karşılık karıştırma süresi grafiği mekanizmaları anlamamıza yardımcı olmaktadır [57]. Bu grafik karıştırıcıların performansını belirlemede kullanılabilir. Genel olarak ilk aşamada (I) konveksiyon etkili iken, ikincil aşamada (II) difüzyon ile kayma birlikte etki etmekte ve son aşamada (III) difüzyon mekanizması etkin rol oynayarak karışma ve ayrışma arasında dinamik bir denge kurulmaktadır [57].



Şekil 1.5. Toz karıştırıcılarda karıştırma işleminin tipik grafiği

1.4. Toz Karıştırıcılarda Ayrışma (Segregasyon)

Partiküllerin farklı fiziksel özelliklere (tanecik boyutu ve yoğunluğu gibi) sahip olması karıştırma sırasında istenmeyen ayrışmaların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Karışımın gerçekleşmesi için gerekli olan hareket tüm tanecikler için aynı olmadığı durumlarda ayrışma gerçekleşebilmektedir. Tanecik boyutu ve yoğunluğuna ek olarak partikül yüzey özellikleri, akış davranışları, nem içeriği, yığın veya kümelenmeye eğilim de ayrışmaya neden olan faktörler arasında yer almaktadır [45].

1.4.1. Toz Karıştırıcılarda Ayrışma Mekanizmaları

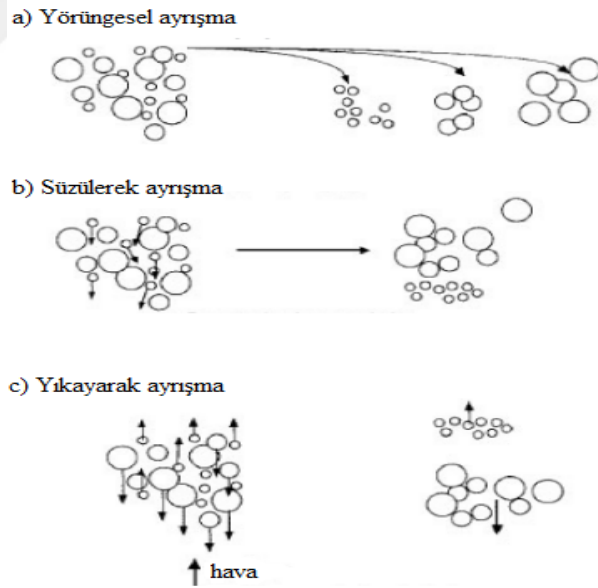
Farklı 19 ayrışma mekanizmasının varlığından bahsedilmekle [64] birlikte ayrışma türleri temel olarak yörüngesel, süzülerek, yıkayarak ve serbest yüzey ayrışması olarak sınıflandırılmaktadır.

Yörüngesel ayrışma (Şekil 1.6.a) farklı tanecik boyutu veya yoğunluğuna sahip tozların dönmekte olan bir silindir içinde akarken meydana gelen durum, ya da bir pedalın daha ağır tanecikleri daha uzağa fırlatmasında meydana gelen mekanizma olarak açıklanmaktadır. **Süzülerek ayrışma** (Şekil 1.6.c) mekanizması, ince ve kaba (iri) taneciklerden oluşan bir karışımda ince olanların kaba tanecikler arasında meydana gelen boşluklara yerleşmesi, sallama/titreşim ve yerçekiminin etkisi ile süzülerek aşağılara inmesi durumunu ifade etmektedir. **Yıkayarak ayrışma** (Şekil 1.6.b) toz partiküllerinden oluşan bir yatakta hafif olan taneciklerin bir akışkan (hava) etkisiyle diğerleri arasından sürüklenmesi ile oluşmaktadır [54]. Diğer bir ayrışma mekanizması olan **serbest yüzey**, partiküllerin eğimli bir yüzeyde aşağı doğru akışları sırasında ortaya çıkmaktadır. Bir partikül eğimli serbest bir yüzeyde yuvarlanıyorsa, bu partikülün daha büyük, daha yoğun veya daha ağır olması daha da ileriye gitmesine neden olmaktadır. Partiküllerin birleşmesi ile oluşan yüzey ince tanecikler için pürüzlü olarak nitelendirilirken daha büyük tanecikler için daha düzgün ve sorunsuz bir yüzey olabilmektedir. Dolayısı ile karıştırıcı içindeki çalkalama ile oluşan serbest yüzey ayrışmanın oluşmasına sebep olmaktadır [45,59,61].

1.4.2. Toz Karıştırıcılarda Ayrışmanın Engellenmesi

Ayrışma esas olarak partiküller arasındaki boyut farkı sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmaya engel olmak için tanecikleri mümkün olduğunca benzer boyuta getirmek gerekir. Genel olarak 30 μm 'den küçük taneciklerin (partikül yoğunluğu 2000-3000 kg/m^3) ayrışması ciddi problemlere neden olmamaktadır. Bu kategorideki tozların partiküller arası kuvvetleri elektrostatik yük, van der Waals kuvveti ile nemden kaynaklanan kuvvetler yerçekimi ve atalet kuvvetlerinden daha büyüktür. Bu durum partiküllerin birbirine tutunmalarını sağlayarak ayrışmanın oluşumuna engel olmaktadır. Bu özellikteki tozlar kohezif olarak tanımlanmakta her bir partikülün hareketsiz olan yapısı iyi karışım sağlanmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, rastgele karışıma yaklaştıkça

örnekler arasındaki standart sapma örnekteki partikül sayısının aksine azalmaktadır. Bu nedenle, bir örnek kütlelerinin partikül boyutu azaldıkça homojenliğe ulaşma derecesi artmakta ve standart sapma azalmaktadır. Serbest akan tozların hareketliliğini azaltmak amacıyla az miktarda sıvı eklemesi yapmak ayrışmayı azaltarak iyi bir karışım sağlamaktadır. Partikül boyutunu düşürme/boyut dağılımını azaltma, kohezif kuvvetleri artırma veya sıvı eklemenin mümkün olmadığı durumlarda ayrışmaya neden olan proses elemanını kontrol altına almak gerebilmektedir. Örneğin ayrışma karıştırıcı içinde meydana geliyorsa karıştırıcıyı yeniden dizayn etmek veya değiştirmek, fayda sağlayabilmektedir. Karışımı yapılan toz ürünler paketlemeden önce taşıma ya da depolama alanında ayrışıyor ise taşıyıcı sistemi gözden geçirmek ya da paketleme yapılacağı zaman karışımın hazır hale getirilmesi daha uygun görünmektedir. Eğer mümkünse karıştırılan tozları daha büyük granüler yapılara işlemek de ayrışmayı azaltabilmektedir [54,65].



Şekil 1.6. Toz karıştırıcılarda karıştırma sırasında meydana gelen temel ayrışma mekanizmaları, a) Yörüngesel, b) Süzülerek, c) Yıkayarak

1.5. Toz Karıştırıcılar

Toz karıştırıcılar şekillerine göre (V-tipi, yatay, dikey, ribon, küp, konik vb.), içerişinde hâkim olan karıştırma mekanizmasının türüne göre (konvektif, kayma, difüzyon) veya

üretim sürecine göre (kesikli veya sürekli) farklı gruplar altında sınıflandırılmaktadır. Ancak hangi şekilde bir sınıflandırma yapılırsa yapılsın, karıştırıcılar üç temel yapıdan birini içermektedir: sabit bir tanktan ibaret olanlar, bu tankın içinde hareketli bir aksamı (pedal, mil, kol vb.) olanlar veya tankın içinde hareketsiz bölmeleri olan karıştırıcılar olarak kategorize edilmektedir.

1.5.1. Alt-üst eden (Tumbling) Toz Karıştırıcılar

Bu kategorideki karıştırıcılar tek veya birkaç eksen etrafında hareket eden farklı geometrik şekillerde olabilen tanklardan oluşmaktadır. Genel olarak tankların içinde herhangi bir hareketli veya hareketsiz parça bulunmamaktadır. Karıştırıcı içindeki toz partikülleri yerçekiminin etkisinde dönme hızına bağlı olarak hareket etmekte olup, dönme seviyesinin az, yeterli ve çok olduğu durumlarda farklı mekanizmalar etkin olmaktadır. Çok düşük dönme hızlarında tozlar karıştırıcının alt kısmında hareketsiz olarak kalmakta ve herhangi bir karışım sağlanamamaktadır. Dönme hızının yeterli seviyeye ulaşması ile karıştırıcı tozları hareket ettirmekte, dinamik yığın açısına ulaşıldığında ise tozlar oluşan yığın üzerine akmaya başlamaktadır. Böylelikle bir kayma yüzeyi oluşmakta ve kayarak (shear) karışım sağlanmaktadır. Dönme hızının çok yüksek olduğu durumlarda difüzyon mekanizması devreye girmekte ve toz partikülleri oluşan yığın üzerine düşmektedir [61]. Bu tip karıştırıcılar serbest akış sınıfında bulunan toz ürünler için ayrışmaya sebep olması nedeniyle etkin bir karışım sağlamada yetersiz kalmaktadır [61]. Alt-üst etme yöntemiyle çalışan toz karıştırıcılarda, etkin bir karışımın sağlanması için karıştırıcının %50 oranında dolu olması önerilmektedir. Dönme hızının santrifüj etkisi yaratmasını engellemek için çok yüksek devirlerde çalıştırılmaması gerekmektedir.

Alt-üst etme yöntemiyle çalışan toz karıştırıcılardan **yatay silindir** (Şekil 1.7.a) şeklinde olanlar basit geometrik şekli ve fiziksel kuramların uygulanmasında yaşanan kolaylık nedeniyle sanayide sıklıkla kullanılmaktadır. Bu karıştırıcı tipinde konvektif mekanizma ve eksenel karışım söz konusu olmadığından, ayrıca serbest yüzeyinin de fazla olması nedeniyle ayrışma sorunu yaşandığından dezavantajlı karıştırıcı grubunda yer almaktadır.

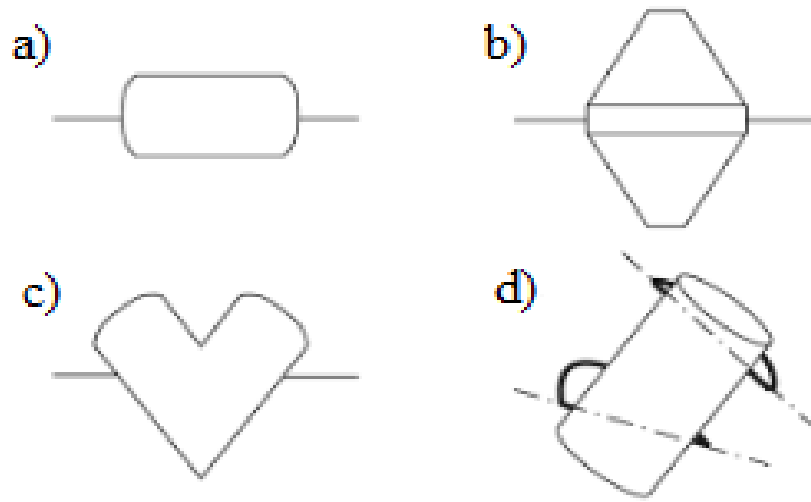
Daha karmaşık akış davranışlarını **V-tipi** (Şekil 1.7.b) ve **çift konik** (Şekil 1.7.c) toz karıştırıcılarda görülmektedir.

V-tipi karıştırıcılar tozların karıştırılması amacıyla geniş bir kullanım alanına sahip olup [66] iki kolun aralarında $75-90^\circ$ açı olacak şekilde birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Yatay eksen etrafında dönüş yapan bu karıştırıcılarda tozlar iki bölme arasında dağılıp yeniden karışmaktadır. Bu mikser tipi hem laboratuvarlarda incelemeler yapmak hem de sanayide kullanılmak üzere farklı boyutlarda dizayn edilebilmektedir [67]. Genel olarak alt kısmında ürün doldurmak ve boşaltmak amacıyla bir deliği (kapağı) bulunmaktadır. V-tipi mikserler daha çok kesikli üretim tekniğine uygun olup kolay temizlenme özelliğine sahiptir. İki kol arasındaki karışım her bir kolda meydana gelen karışıma oranla daha yavaştır. Bu nedenle V-tipi karıştırıcıların performansını artırmak amacıyla aynı boyuta sahip olmayan kollar dizayn etmek [68], mikser içine kısa kürek parçaları adapte etmek [69] ve mikser içinde akış dalgalanması oluşturabilecek salınım hareketi meydana getirmek [70] önerilmektedir.

Çift konik karıştırıcılar, iki konik tankın (genelde 45° açı ile oluşturulmuş) merkezde birleştirilmesi ile oluşturulmakta ve merkez eksen etrafında dönüş yapmaktadır. Bu iki tip karıştırıcı kesikli sistemde kayma ve difüzyon mekanizmalarının etkin olduğu kolay temizlenen karıştırıcı tipi olarak sıklıkla kullanılmaktadır [60,61].

Alt-üst etme yöntemiyle çalışan diğer bir karıştırıcı ise çok eksenli dönen **Turbula®** karıştırıcı (Şekil 1.7.d) olup sanayi ve laboratuvarlarda kullanılmaktadır. Bu karıştırıcı dönme, çevirme ve ters çevirme işlemlerini üç boyutlu yaparak daha kısa sürede homojen bir karışım sağlamak amacıyla etkin olmaktadır. Kolay ayrışabilen tozların yanı sıra kohezif tozların karıştırılması için de oldukça elverişlidir [59,61,71].

Alt-üst eden tüm karıştırıcıların içine yerleştirilen bölmeler karışıma türbülans sağlamakta, böylelikle oluşan yığınları dağıtarak homojen karışım elde edilmesi kolaylaşmaktadır.



Şekil 1.7. Alt-üst eden toz karıştırıcı tipleri;

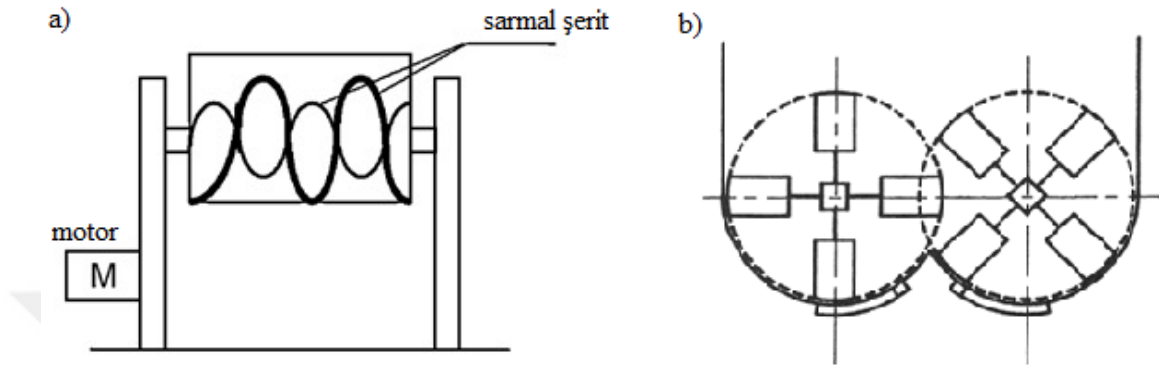
a) Yatay silindir, b) Çift konik, c) V-tipi, d) Turbula

1.5.2. Konvektif Toz Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılarda karıştırıcının içinde karışımı sağlayan dönen bir mekanizma bulunmaktadır. Bir veya birkaç hareketli kürek veya kol bir çark etrafında ya da bir mil yardımıyla dönmekte ve bu sayede toz partikülleri yığınlar halinde bir yerden başka bir yere taşınmaktadır. Bu hareketli aksamlar karıştırıcının geometrik yapısına ve tipine göre değişiklik göstermekte olup konvektif ve kayarak karıştırma mekanizmalarını etkin hale getirmektedir. Bu karıştırıcılarda hız alt-üst eden karıştırıcılara göre daha yüksek olmakla birlikte karıştırıcıların doluluk oranı %80'e ulaşabilmektedir. Kesikli ve sürekli sistemlerde kullanılabilme avantajının aksine her bir hareketli mekanizmanın etrafında dönme hızına ve tozun akış özelliğine bağlı olarak değişen hacimsel boşluk gelişmesi bu karıştırıcıların en büyük kısıtı olmaktadır [61].

Bu kategorideki **yatay karıştırıcılar** özellikle düşük kohezif özellik gösteren tozların karıştırılmasında kullanılmaktadır. En basit tasarımı ile yatay karıştırıcılar içerisinde helezonik vidaların yer aldığı tasarımlardan oluşmaktadır. Ancak en yaygın kullanılan yatay karıştırıcı **ribon (şerit)** tipi olup, sabit bir yarı silindirik tankın içinde hareketli sarmal şeritlerden meydana gelmektedir (Şekil 1.8.a) [60]. Bu şeritlerin dönmesi ile tozlar karıştırılmaktadır [45,61,62,65,72,73]. Tek sarmal veya çift sarmaldan oluşabilen bu karıştırıcılar kolay akabilen veya az kohezif etki gösteren tozların karıştırılmasında

kullanılmaktadır. Kohezif tozlar yüzeye ve sarmallara yapışmaktadır. Bu karıştırıcıların en büyük dezavantajı temizliğinin zor olmasından kaynaklanmaktadır.



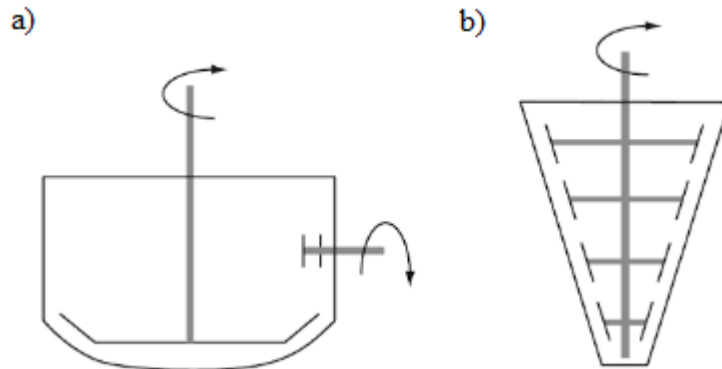
Şekil 1.8. Yatay toz karıştırıcılar a) Ribon tipi b) Kürek (paddle) tipi

Ribon tipi karıştırıcının en yaygın çeşitlerinden biri **kürek tipi** (Şekil 1.8.b) toz karıştırıcıdır [45]. Bu karıştırıcıda sarmal şeritler yerine hareketli bir mil üzerine açsal bir düzende yerleştirilmiş kürekler bulunmaktadır. Bu kürekler yardımıyla daha fazla etkileşim, çapraz akış ve kayma sağlanmakta, daha nemli ve orta dereceli kohezif tozların karıştırılmasında ribon tipe göre daha avantajlı kabul edilmektedir. Ayrıca karışım daha kısa sürede gerçekleşebilmektedir. Daha etkin karışım sağlamak amacıyla ribon ve kürek karıştırıcılar kombine edilerek yatay konvektif karıştırıcılar çeşitlendirilmektedir.

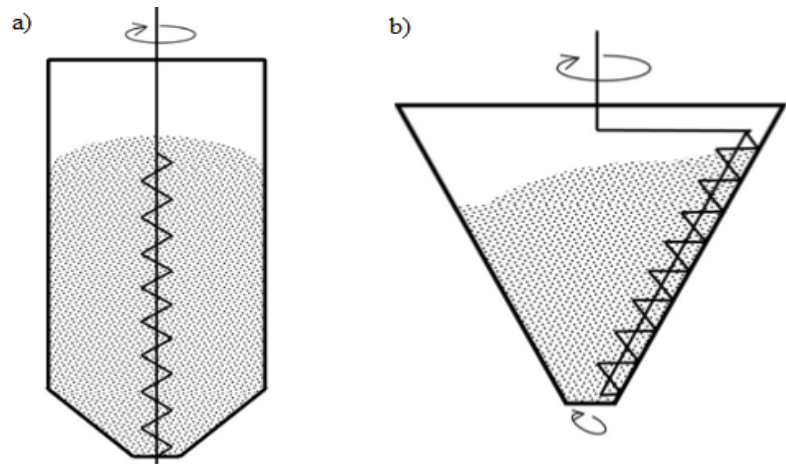
Dikey dönen mekanizmaya sahip konvektif karıştırıcılar içerisinde yüksek parçalayıcı (high-shear) ve planet karıştırıcılar bulunmaktadır. Yüksek parçalayıcı karıştırıcılar genelde daha düşük kapasiteli olup kesikli üretim sürecinde kullanılmaktadırlar. Sabit büyük bir kase şeklindeki karıştırıcının tabanında yer alan dikey düzlemdeki pervane veya türbin karıştırmayı sağlamaktadır. Başka bir geometride ise konik şeklindeki karıştırıcının içinde yer alan dikey milin etrafındaki türbinler yardımıyla karışım sağlanmaktadır (Şekil 1.9.a ve 1.9.b). Bu karıştırıcılarda hız 1000-3000 rpm olabilmektedir [61]. Yan tarafa eklenen yatay kıyıcılar sayesinde karışım daha etkin hale getirilebilmektedir. Daha çok sıvı formdaki ürünlerin parçalanması ya da kohezif tozlarda meydana gelen yığınların parçalanması amacıyla kullanılmaktadırlar. Planet karıştırıcılar ise daha düşük hızlarda çalışmakta ve genel olarak en az iki farklı hareket mekanizmasında etki göstermektedirler. Bu karıştırıcılar içinde en yaygın olanlardan biri

vidalı karıştırıcılardır. Bu karıştırıcılar silindirik veya konik bir karıştırıcı tankın hacimsel kapasitesini dönme mekanizmasının karışıma sağladığı etki ile birleştirmektedir [45,74]. Bu karıştırıcılarda vida merkeze yerleştirilebildiği gibi yan yüzeye yakın bir bölgeye de yerleştirilebilmektedir (Şekil 1.10.a ve 1.10.b) [45]. Vidalı karıştırıcılarda vidanın dönmesi kendi eksenini ve karıştırıcı ekseninde olmak üzere iki farklı etki meydana getirmektedir. Vida kendi ekseninde dönerken burğu taşıyıcı gibi hareket ederek konik karıştırıcının alt kısmındaki tozları yukarı doğru taşımakta ve bu tozlar aşağıya doğru tekrar akmaktadır. Diğer etki ise vidanın konik karıştırıcının dikey ekseninde dönmesi sonucu tozların tüm karıştırıcı içinde dağılması ile oluşmaktadır [61,72,75]. Vidalı karıştırıcılar diğer karıştırıcılara göre daha az homojenlik sağlamakta ancak yüksek kapasite ve depolama esnasında karışım sağlama avantajı sebebiyle tercih edilmektedirler.

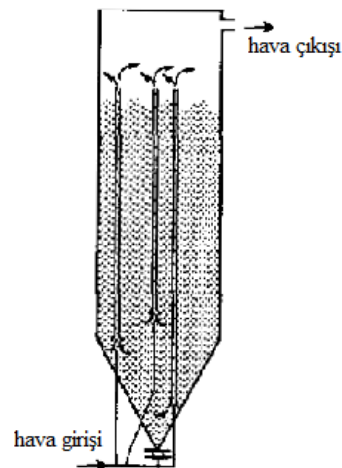
Konvektif karışım mekanizmasının etkin olduğu diğer bir karıştırıcı grubu Şekil 1.11’de gösterilen akışkan yataklardır [76]. Tozlar akışkan yatak karıştırıcılarda hava akımı ile karıştırılmaktadır. Hava akımının yarattığı türbülans toz partiküllerden oluşan yatakta bir hareketlenmeye neden olmakta ve karışım sağlanmaktadır [77]. Karışım süresi diğer karıştırıcılarla kıyaslandığında daha kısa olmaktadır. Akışkan yatak karıştırıcılar daha ince partiküllerden oluşan ve çok fazla kohezif olmayan tozların karıştırılması için elverişli sayılmaktadırlar.



Şekil 1.9. Yüksek parçalayıcı karıştırıcılar a) Dikey shaftlı kase karıştırıcı, yan tarafında kıyııcı eklenmiş b) Konik şekil



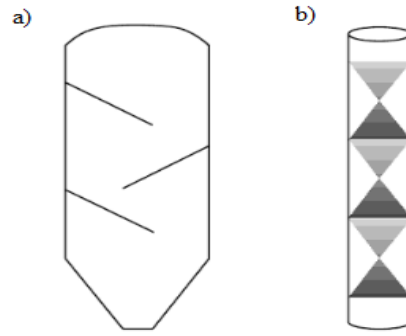
Şekil 1.10. Vidalı toz karıştırıcılar a) Merkez vidalı b) Yörüngesel vidalı



Şekil 1.11. Akışkan yatak karıştırıcı

1.5.3. Statik Toz Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılar herhangi bir hareketli mekanizmaya sahip olmadığından pasif karıştırıcı olarak da nitelendirilmektedirler. Karışım yerçekiminin etkisinde hareketsiz silo içinde yer alan bölmeler (Şekil 1.12.a) ya da boru hatları içinde yer alan sapmalar (Şekil 1.12.b) aracılığı ile sağlanmaktadır [61].



Şekil 1.12. Statik toz karıştırıcılar a) Bölmeli silo b) Boru hattı

1.5.4. Karıştırıcı seçimi

Toz ürünlerin karıştırılmasında kullanılan pek çok karıştırıcı türü, karışım mekanizması, süre ve birbirinden farklı tozlar uygun karıştırıcının seçimini zorunlu kılmaktadır. Karıştırıcı seçimi üzerinde çalışılmış net bilimsel ilkelere dayanmamakla birlikte genel kabul görmüş bir metot da bulunmamaktadır. Günümüzde uygun karıştırıcının seçimi daha önceki deneyimler göz önünde bulundurularak deneme yanılma yolu ile gerçekleşen bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır [45]. Karışım talebin kaliteye yönelmesi ve karıştırma işleminin mekanikleşmeye olan eğilimi de dikkate alındığında karıştırma performanslarını karşılaştırmak için bilimsel kriterlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak toz karışım biliminin istenen düzeyde olmaması nedeniyle dizayn kriterlerinin ve tekniklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Karışım homojenitesi ve süresi, doldurma ve boşaltma teknikleri, enerji tüketimi gibi pek çok özelliğin bilinmesi uygun karıştırıcı seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca tozların ayrılmaya olan eğilimi ve uzun süren karıştırma işleminin homojeniteyi artırmak yerine azalttığı da unutulmamalıdır [62]. Karıştırma işleminin amacı, tozların özellikleri, üretim kapasitesi, istenen nihai karışım derecesi, bakım problemleri, birim ve işletme maliyetleri iyi tasarlanmalıdır. Bu faktörlerin her birinin önceliği durumdan duruma değişmekte ancak uygun karıştırıcıyı seçmek için genel bir metodoloji bulunmamaktadır [57].

1.6. Matematiksel Yaklaşımlar

Gerçek dünyadaki sistemleri ve süreçleri matematiksel denklemler ve ifadelerle temsil etme yöntemini ifade eden matematiksel yaklaşımlar, sistemlerin davranışlarını anlamak, analiz etmek ve tahmin etmek için kullanılmaktadır. Matematiksel modeller, karmaşık

sistemleri daha iyi anlamamıza ve bu sistemlerin davranışlarını tahmin etmemize yardımcı olmaktadır. Bu modeller, karar verme süreçlerini desteklemek ve daha etkili çözümler geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Modelleme, bağımsız ve bağımlı (yanıt) değişkenler arasında nicel bir ilişki kurulması anlamına gelmektedir.

Gıda mühendisliği, gıda üretim, işleme, kalite ve gıda güvenliği alanında bilimsel ve mühendislik çalışmalarını içeren bir disiplindir. Gıda işleme ve üretiminde, kalite standartlarını korurken üretim maliyetlerini ve işlem süresini artırmadan sistem performansını iyileştirmek temel amaçtır. Yüksek kaliteli ve pazarlanabilirliği yüksek ürünler elde etmek için en uygun işleme koşullarının ve formülasyonların belirlenmesi başarılı bir ürün için büyük önem taşımaktadır [78].

Gıda sanayisinde istenilen sonuca ulaşmada fizikokimyasal ve duyuşsal pek çok özellik dikkate alınmaktadır. Bu nedenle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri gıda biliminde sıklıkla kullanılmaktadır. ÇKKV teknikleri, birden fazla kriterin optimize edildiği, mümkün çözüm setleri içerisinde en iyi alternatifin seçildiği karar verme süreci olarak tanımlanabilmektedir [79].

Taguchi yöntemi, Genichi Taguchi tarafından Japonya'daki endüstriyel süreçlerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen etkin bir istatistiksel deneysel tasarım ve optimizasyon tekniğidir [80]. Bu yöntem üretim süreçlerindeki değişiklikleri azaltmak ve ürün kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Taguchi metodu, ürün tasarımı ve üretim aşamalarındaki hataları öngörerek bunları indirgemeye yönelik sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi yöntemi birçok endüstriyel uygulamada maliyetleri azaltmaya odaklanarak, minimum deney sayısı ile en fazla bilgi elde etmeyi amaçlayan bir tekniktir. Taguchi tekniklerinin gıda sanayisi ve mühendisliği alanında ürün ve proses optimizasyonu ile kalite iyileştirme çalışmaları üzerine odaklandığı pek çok araştırma bulunmaktadır [81–86].

Taguchi metodu süreç veya ürün optimizasyonunu sistem, parametre ve tolerans tasarımından oluşan üç aşamalı bir yaklaşımla açıklamaktadır [87]. Sistem tasarımı, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin kullanılarak belirli şartlarda çalışan bir sistem geliştirilmesini amaçlamaktadır. Ürün ve süreç tasarımı aşamalarından oluşur. Sistem tasarımından sonraki adım parametre tasarımıdır. Bu aşamada süreç performansını artırmak için süreç değişkenlerinin optimize edilmesi ve optimum çıktı üretebilecek süreç

değişkenlerinin kombinasyonunun belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle parametre tasarımı, Taguchi tasarımında maliyeti azaltırken kaliteye ulaşmada en önemli adımdır. Tolerans tasarımı ise parametre tasarımı sonucunda istenilen amaca ulaşamadığı takdirde yapılan bir çalışmadır. Elde edilen değerlerden yararlanılarak hedef değerde meydana gelen sapmanın neden olduğu kayıplar hesaplanmaktadır. Parametrelere ait en optimum toleranslar bu aşamada belirlenmektedir [87,88].

Entropi kavramı düzensizliğin veya belirsizliğin ölçüsü olarak birçok bilim alanında kullanılan bir tanımdır. Bir sistem ne kadar düzensizse entropisi de o ölçü de yüksektir. Bilgi teorisinde entropi kavramı ise ilk olarak 1948 yılında Shannon tarafından ortaya konmuştur. Bilgi içindeki belirsizliği olasılıktan yararlanarak ortaya koyan bu kavram, iletilen bir mesajın ne kadar bilgi içerdiğini ifade etmektedir [89]. Entropi çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinin çözümünde kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılan objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir [90]. Bu yöntem kriterlerin göreceli önem değerlerini ve sonuca olan etkisini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [90,91]. Kısaca entropi kriterin bilgi sistemini ve belirsizliği ne derecede yansıttığını göstermektedir [92].

Cevap Yüzey yöntemi, 1951 yılında Box ve Wilson tarafından tanımlanmış ve geliştirilmiş bir tekniktir. Myers ve Montgomery Cevap Yüzey yöntemini, istatistiksel ve matematiksel tekniklerin proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlamıştır [93]. Cevap Yüzey Metodolojisi, gıda biliminde pişirme, fırınlama, kavurma, kurutma, ekstrüzyon, fermantasyon gibi çeşitli gıda işleme operasyonlarının modellenmesi ve optimize edilmesinde kullanılmıştır [78].

Gri İlişkisel Analiz (GİA) 1982 yılında Deng Julong tarafından ortaya konan Gri Sistem Teorisinin bir parçasını oluşturmaktadır [94]. Belirsizliklerin ve yetersiz bilgilerin bulunduğu karmaşık sistemlerdeki karar verme problemlerini çözmek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [95,96]. GİA'nın sağladığı metodik yaklaşım, her bir parametrenin toplam performans üzerindeki etkilerini belirleyerek en uygun kombinasyonları seçmeyi mümkün kılmaktadır.

Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis, PCA) ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi (Hierarchical Cluster Analysis, HCA) çok değişkenli analiz teknikleri arasında yer almaktadır. PCA, analiz edilen çok sayıdaki değişkeni aradaki korelasyonu

engelleyerek doğrusal kombinasyonlar oluşturacak şekilde daha az sayıda değişkenlere dönüştüren bir yöntemdir. Çok değişkenli veri setlerinde karmaşık yapıyı ve verilerin birbiri ile olan ilişkisini incelemek amacıyla kullanılmaktadır [97]. Gıda mühendisliği alanında sınıflandırmaya dayalı matematiksel yaklaşımlar oldukça önemlidir. PCA'nın temel amacı, bir matrisi, boyutu daha küçük iki ayrı matrise ayırarak temsil etmektir. Çoğunlukla, birinci ve ikinci temel bileşenler toplam varyansın büyük kısmını temsil ettiğinden, bu iki bileşenin birbirine karşı grafik üzerinde gösterilmesiyle, tüm değişkenlerin etkisini dikkate alarak örneklerin iki boyutlu düzlemde gruplanması sağlanabilmektedir [98]. Diğer taraftan HCA, önceden belirlenmiş seçim kriterlerine dayanarak, birbirine oldukça benzeyen birimleri aynı grup içerisinde toplayan bir yöntemdir. Çok boyutlu veri setlerinin özetlenmesi ve tanımlanmasında rehberlik eden bu analiz türü, araştırmalarda sıkça kullanılmaktadır. Kümeleme analizi, hem birbirinden farklı (heterojen) gruplar içindeki gözlem yapılarını hem de birbirine benzer (homojen) gruplardaki gözlemleri uygun tekniklerle sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Bu süreçte, özellikler veya oluşan kümeler arasındaki benzerlik ve farklılıklar, yani yakınlık ve uzaklık ilişkileri dikkate alınarak gruplama yapılmaktadır [99]

Çalışma kapsamında kullanılan matematiksel modellemelere ait işlem basamakları yöntem kısmında detaylandırılmıştır.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

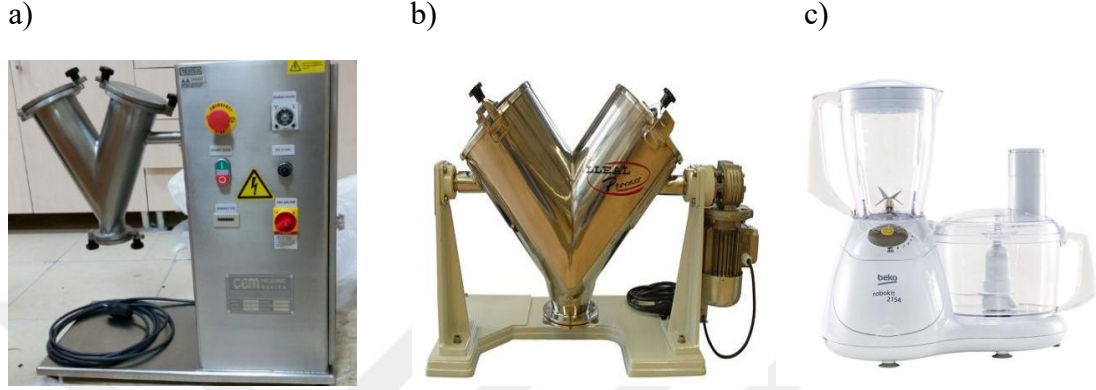
Tez çalışmasında kullanılan toz gıda örneklerinden toz şeker, mısır nişastası, süttozu (yağsız), kakao (alkalize, yağ içeriği: %10-12), karagenan, sodyum bikarbonat, sitrik asit ve sodyum asit pirofosfat (SAPP), Kayseri’de faaliyet gösteren Bayrak Gıda San. ve Tic. A.Ş firmasından; askorbik asit ve malik asit ise Smart Kimya Tic. ve Danışmanlık Ltd. Şti. (İzmir) firmasından temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan granüler yapıdaki pirinç, fasulye, nohut, buğday, şehriye, bulgur, tuz ve kuru üzüm yerel marketlerden satın alınmıştır. Granüler ürünler kuru formda herhangi bir işleme tabi tutulmadan model ürün karışımlarında kullanılmıştır.

Toz içecek model ürününün HPLC ile analizinde kullanılan potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) Sigma Aldrich, Almanya firmasından sağlanmıştır.

Çalışmada iki farklı V-tipi laboratuvar mikseri ve mutfak tipi robot karıştırıcı olarak kullanılmıştır. V-tipi mikserlerden biri toplam hacmi 3 L olan ve hız ayarı yapılabilen türde tasarlanmıştır. Tez içerisinde “V3L” kodu ile anılmıştır. Diğer V-tipi mikser ise “V8L” kodu ile toplam hacmi 8 L olan ve içerisinde dönen mili bulunan karıştırıcıdır (Lleal s.a, İspanya). Mutfak tipi robot ise (tez içerisinde “Robot” olarak tanımlanmıştır) yurtiçinde bulunan Beko firmasından satın alınmıştır (Beko, Robokit 2154, Türkiye) (Şekil 2.1).

V-tipi mikser içerisinde örnek almak amacıyla Akyol Ticaret Değ.Lev.Ltd.Şti tarafından üretilen ve Şekil 2.2’de gösterilen numune alma sondası kullanılmıştır. Bu sonda

numunenin dolması için açılıp kapanan özellikteki 4 göze sahip olan sonda 53 cm boyunda ve 14 mm çapındadır.



Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan laboratuvar tipi toz karıştırıcılar

a) V3L mikseri b) V8L mikseri c) Mutfak tipi robot



Şekil 2.2. Numune alma sondası

2.2. Yöntem

2.2.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri

Model ürün bileşenlerinin akış davranış özelliklerini belirlemek ve akışı etkileyen faktörleri incelemek amacıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler nem, su aktivitesi, dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları, partikül boyutu ve toz akış analizleridir.

2.2.1.1. Nem Tayini

Toz ve granül halde bulunan örneklerin nem içerikleri standart kurutma prensibine göre yapılmıştır. Bu amaçla yaklaşık 3 g örnek önceden sabit tartıma getirilmiş ve darası

alınmış tartım kaplarına yerleştirilmiş, 105 °C’de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Ardından desikatörde soğutulan örnekler tartılmış ve aradaki ağırlık farkından % nem içerikleri hesaplanmıştır [100].

2.2.1.2. Su Aktivitesi Tayini

Örneklerin su aktiviteleri (a_w) otomatik su aktivitesi ölçüm cihazı (Aqualab, Decagon, ABD) kullanılarak oda sıcaklığında kaydedilmiştir.

2.2.1.3. Ortalama Partikül Boyutu Tayini

Örneklerden toz halde bulunanların ortalama partikül boyutu (d_{50}) elek analizi ile tespit edilmiştir. Bu amaçla titreşim fonksiyonuna sahip elek sallama cihazı (Restch, AS 200 Digit, Almanya) ile gözenekleri 36-500 μm arasında değişen 7 elek ve bir toplama kabı kullanılmıştır. Eleme 100 g örnek ile 5 dakika boyunca sürdürülmüştür [101]. Granüler yapıdaki bileşenlerin boyutları ise kumpas ile 10 tekrarlı olarak ölçülmüştür [102]. Ortalama tane boyutu uzunluk, genişlik ve derinlik ölçülerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Karışımlarda kullanılan ince bulgur, kaba bulgur ve pirinç bileşenlerinin ortalama tanecik boyutu için üretici tarafından beyan edilen değerler esas alınmıştır.

2.2.1.4. Dökme ve Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluğu Tayini

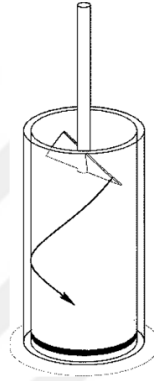
Toz ürünlerin dökme yığın yoğunluklarını (DYY) belirlemek amacıyla önceden darası alınmış (G_1) 50 ml’lik cam dereceli silindir içerisine toz ürünler doldurulmuş ve tartım yapılmıştır (G_2).

Sıkıştırılmış yığın yoğunluğunu (SYY) belirlemek için önceden darası alınmış (G_1) 50 ml’lik cam dereceli silindir içerisine toz ürünler doldurulmuş ve hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde zemine vurularak tozun sıkışması sağlanmıştır. Ardından cam silindir tartılmıştır (G_2). Dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır [103].

$$\text{Yığın yoğunluğu (g/ml)} = (G_2 - G_1) / 50 \quad (18)$$

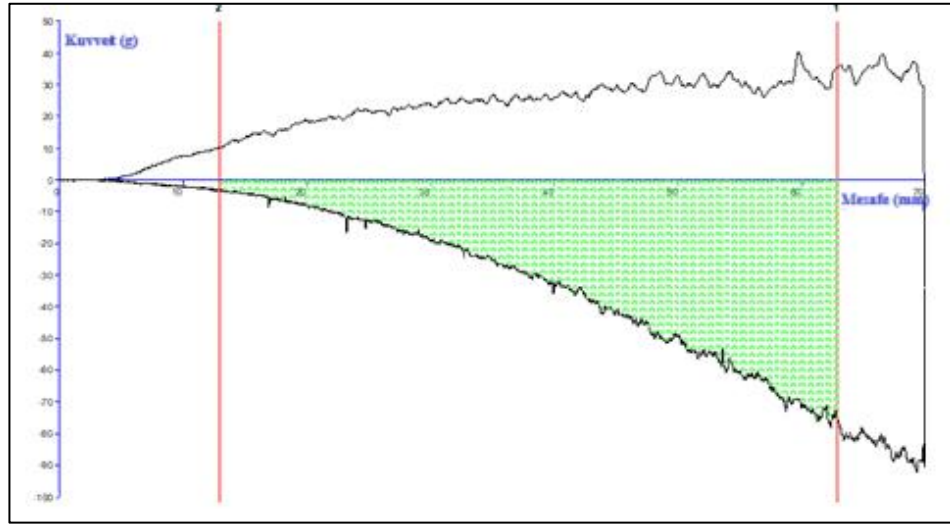
2.2.1.5. Toz Gıdaların Akış Davranış Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmalarda kullanılan toz ürünlerin akış özelliklerini belirlemek amacıyla tekstür cihazına (Stable Micro System, TA-XT2 Plus, İngiltere) toz akış probu (PFA) takılmıştır. Bu sayede cam bir kaptan (120 mm yükseklik, 50 mm iç çap) özel tasarımı aşağı-yukarı ve sağa-sola dönen bir bıçak (48 mm çap ve 10 mm yükseklik) yardımıyla tozların akış özellikleri analiz edilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Toz akış probunun cam kap ve dönem bıçak tasarımı

Tozların bu prob ile analizinde üç farklı test uygulanmaktadır. Bunlardan ilki tozların kohezif özelliklerini belirleyen kohezyon testidir. Tüm testler bıçağın örneği homojen hale getirmek amacıyla iki hazırlık turu atmasıyla başlamaktadır. Kohezyon testinde hazırlığın ardından bıçak üç tur daha atarak kohezyon katsayısını belirlemektedir. Kohezyon katsayısı ($g \cdot mm$) 50 mm/s hızında dekompresyon fazı boyunca bıçağı toz kütlesi arasından çıkarmak için gerekli olan iş olarak tanımlanmakta ve Texture Exponent 32 (Stable Micro Systems, İngiltere) yazılımı aracılığı ile kuvvet/mesafe eğrisinin altında kalan negatif alanı ifade etmektedir (Şekil 2.4) [104,105]. Kohezyon indeksi ise bu katsayının örnek ağırlığına oranı olarak yazılım tarafından ortaya konmaktadır. Kohezyon indeksi tozların akış sınıfını (Tablo 2.1) belirlemede sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [106].



Şekil 2.4. Toz akış cihazında kohezyon testine ait örnek mesafe-kuvvet grafiği

Tablo 2.1. Kohezyon indeksi değerlerine göre tozların akış sınıflandırması

Akışkanlık	Kohezyon İndeksi
Aşırı yapışkan, çok zor akış	> 19
Çok yapışkan, zor akış	16 – 19
Yapışkan, orta dereceli akış	14 – 16
Kolay akış	11 – 14
Serbest akış	< 11

Tozların akış sınıfını belirlemek amacıyla geleneksel olarak kullanılan, yığın yoğunluğu odaklı Carr indeksi (CI) ve Hausner oranı (HO) değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak tespit edilmiştir. CI ve HO değerlerine göre belirlenen akış türleri Tablo 2.2'de verilmiştir [107].

$$\text{Hausner Oranı} = \frac{\text{Sıkıştırılmış Yığın yoğunluğu}}{\text{Dökme yığın yoğunluğu}} \quad (19)$$

$$\text{Carr İndeksi} = \frac{\text{Sıkıştırılmış Yığın yoğunluğu} - \text{Dökme yığın yoğunluğu}}{\text{Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu}} * 100 \quad (20)$$

Tablo 2.2. Carr indeksi ve Hausner oranına göre akış sınıfları

Akışkanlık	Carr İndeksi (CI)	Hausner Oranı (HO)
Mükemmel	0 – 10	1.00-1.11
İyi	11 – 15	1.12-1.18
Orta	16 – 20	1.19-1.25
Geçerli	21 – 25	1.26-1.34
Zayıf	26 – 31	1.35-1.45
Çok zayıf	32 – 37	1.46-1.59
Çok kötü	>38	>1.60

Toz akış cihazı ile uygulanan diğer test kekleşme (caking) testidir. Kekleşme tozların depolama ve taşıma sırasında daha büyük yığınlar oluşturmaya yatkınlığı olarak tanımlanan [17,108] ve istenmeyen bir durumdur. Kekleşme testinde iki ön hazırlık turunun ardından bıçak toz kütlelerini düzleştirerek kolon yüksekliğini ölçmekte ve tozu 20 mm/s hızla aşağıya doğru daha önceden belirlenmiş olan 750 g'lık bir kuvvete sıkıştırmaktadır. Bu kuvvete ulaştığında oluşan kekin yüksekliğini ölçmekte ve ardından keki parçalamaktadır. Her döngü başında kolon yüksekliği, her hedef kuvvete ulaşıldığında ise oluşan kek yüksekliği kaydedilmektedir. Bu sıkıştırma işlemi dört kez daha tekrarlanmakta ve beşinci sıkıştırmada hedeflenen kuvvete ulaşılıp silindirin tabanında oluşan keki keserek bu iş için gerekli kuvvet ölçmektedir. Bu kuvvet kek gücü (cake strength) olarak tanımlanmakta ve keki kesmek için gerekli olan işi (g.mm) ifade etmektedir. Ortalama kek gücü (mean cake strength) ise bu işlerin g cinsinden ortalamasını belirtmektedir. Tozun yerleşme ve sıkıştırmaya olan eğilimi kolon yükseklik oranı (column height ratio) ve kek yükseklik oranı (cake height ratio) olmak üzere iki parametre ile incelenebilmektedir. Kolon yükseklik oranı o turdaki kolon yüksekliğinin ilk kolon yüksekliğine oranı, kek yükseklik oranı ise o andaki kek yüksekliğinin ilk kek yüksekliğine oranı olarak TE32 yazılımı tarafından hesaplanmaktadır.

Toz akışının hızla olan bağlantısını inceleyebilmek için uygulanan analiz ise toz akış hızı bağımlılığı (Powder flow speed dependency, PFSD) testidir. Bu testte ilk iki hazırlık turunun ardından probun artan hızlarda (10, 20, 50 ve 100 mm/s) tozu sıkıştırma ve kaldırma eylemi uygulanmaktadır. Her bir tur iki döngüden oluşmakta ve prob aşağı inerken sıkıştırma, yukarı çıkarken de tozu havalandırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

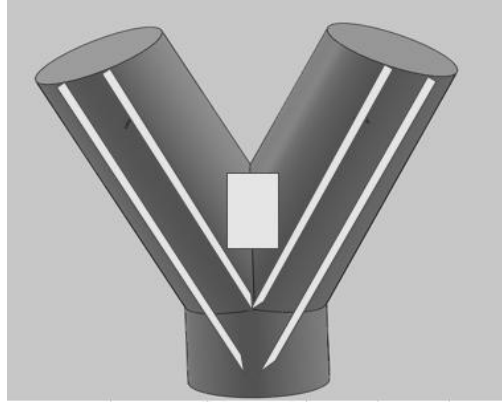
Son tur ise 10 mm/s hızında meydana gelmektedir. Her bir tur için sıkıştırma katsayısı ($g \cdot mm$) kuvvet/mesafe eğrisinin altındaki pozitif alanın integrasyonu ile hesaplanmaktadır [109]. Bu testte kaydedilen artan hıza bağlı olarak artan sıkıştırma katsayısı tozun akışa karşı direncinin arttığını ve dolayısı akış hızı bağımlı tozu ifade etmekte iken sıkıştırma katsayısında meydana gelen ufak değişim veya değişkenliğin olmaması hızdan bağımsız bir toz kütleini ifade etmektedir. Bununla birlikte artan hıza göre sıkıştırma katsayısının azalması tozun hız arttıkça daha kolay akabilen bir yapı kazanması anlamına gelmektedir. İlk 10 mm/s hızındaki turda kaydedilen ortalama sıkıştırma katsayısının son 10 mm/s'lik hızdaki katsayıya oranı “akış stabilitesi” olarak tanımlanmaktadır. Bu akış stabilite değeri 1'e yakın ise tozun test sırasında etkilenmediği, >1 ise artan sıkıştırma katsayısını ve <1 ise azalan sıkıştırma katsayısını ifade ederek tozun sürtünmeye maruz kalarak veya şeklinde meydana gelen değişiklik nedeniyle etkilendiğini göstermektedir [104,108].

Toz gıda örneklerinin akış sınıfını belirlemek amacıyla geleneksel olarak kullanılan ve yığın yoğunluğu odaklı Carr indeksi ve Hausner oranı değerleri belirlenmiştir.

2.2.2. Model Toz Gıda ürünlerinin Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

V-tipi mikserde süre optimizasyonu yapmak amacıyla altı farklı model ürün seçilmiş ve reçetelendirilmiştir. Bu reçetelerin mikser içerisinde kaplayacağı hacim ürünlerin yığın yoğunluğundan yararlanılarak tespit edilmiştir.

Karışımların homojenliğe ulaşma dereceleri mikserin içinden 5 farklı bölgeden (Şekil 2.5) alınan örneklerin bileşenlerini analiz etmek suretiyle belirlenmiştir.



Şekil 2.5. V-tipi mikser içerisinde numune alınan bölgeler

Karışım süresi optimizasyonu yapmak amacıyla bulgur karışımı, toz sütlaç, toz puding, toz çorba, aşure ve toz içecek ürün karışımları belirlenmiştir. Model ürün karışımlarını hazırlamak için ürün bileşen oranları (ürün reçeteleri) kullanılmıştır. Bu reçetelerin belirlenmesinde sanayide kullanılan gerçek ürün karışımları esas alınmış ve model ürün karışımları oluşturulmuştur. Göz önüne alınan model ürünler için faktörler ve alt seviyeleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

2.2.2.1. Model Bulgur Karışımının Hazırlanması ve Analizi

Tez çalışmasında kullanılan V3L mikserinde karışıma etki eden faktörleri incelemek amacıyla belirlenen başlıca dört faktör (mikser dönüş hızı, karışım süresi, mikser doluluk oranı ve tozun mikser içerisine yerleştirme yönü) Cevap Yüzey Yönteminde Box-Behnken deneme dizaynı oluşturularak analiz edilmiştir. Mikserin dönüş hızı 5-38 rpm arasında değişmekte olduğundan bu aralıklar dönüş hızı için alt ve üst sınırlar olarak belirlenmiştir. Karışım süresi için sınırlar 2-40 dakika, doluluk oranı için % 40-80 ve yerleştirme yönü AU (alt-üst) ve YY (yan yana) olmak üzere seviyeler belirlenmiştir. Dört faktörlü Cevap Yüzey metodunda Box-Behnken deney tasarımına ait bilgiler Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Model toz gıda ürün karışımları için oluşturulan faktörler ve seviyeleri

Toz Gıda Model ürünü	Faktörler	
	Karışım Süresi (dakika)	Mikser Doluluk Oranı (%)
Bulgur	2, 21, 40	40, 60, 80
Toz Sütlaç	0.5, 1, 1.5, 2, 5, 10, 20, 30	50, 60, 70, 80, 90
Toz Puding	2, 5, 10, 20, 30	50, 60, 70, 80, 90
Toz Çorba	2, 5, 10, 20, 30	50, 60, 70, 80, 90
Aşure	2, 5, 10, 20, 30	50, 60, 70, 80, 90
Toz içecek	2, 5, 10, 20, 30	50

Karışım amacıyla iki farklı tanecik boyutuna sahip (ince ve kaba) bulgur mikser içerisinde eşit ağırlıklı olarak karıştırılmıştır. Mikser içinden alınan 100 g'lık örnekler 1.2 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilerek birbirinden ayrılmıştır.

Tablo 2.4. Bulgur karışımı için Cevap Yüzey metodu Box-Behnken deney tasarımı

Sıra No	Karışım Süresi (dk)	Mikser Dönüş Hızı (tur/dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)	Mikser içine ürün yerleştirme yönü
1	2	21.5	80	AU
2	21	21.5	60	YY
3	40	21.5	80	YY
4	2	21.5	40	AU
5	21	5	80	YY
6	21	38	80	YY
7	40	38	40	YY
8	40	21.5	80	AU
9	21	21.5	60	YY
10	21	21.5	60	YY
11	40	5	60	AU
12	21	38	40	YY
13	21	21.5	60	AU
14	2	38	60	AU
15	40	21.5	40	AU
16	2	21.5	40	YY
17	40	5	60	YY
18	21	5	40	AU
19	21	5	80	AU
20	21	5	40	YY
21	2	5	60	AU
22	21	38	40	AU
23	21	21.5	60	AU
24	2	21.5	80	YY
25	40	38	60	AU
26	21	38	80	AU
27	40	21.5	40	YY
28	2	5	60	YY
29	21	21.5	60	AU
30	2	38	60	YY

AU: Tozun mikser içerisine Alt-üst pozisyonda yerleştirilmesi, YY: Tozun mikser içerisine Yan-yana pozisyonda yerleştirilmesi

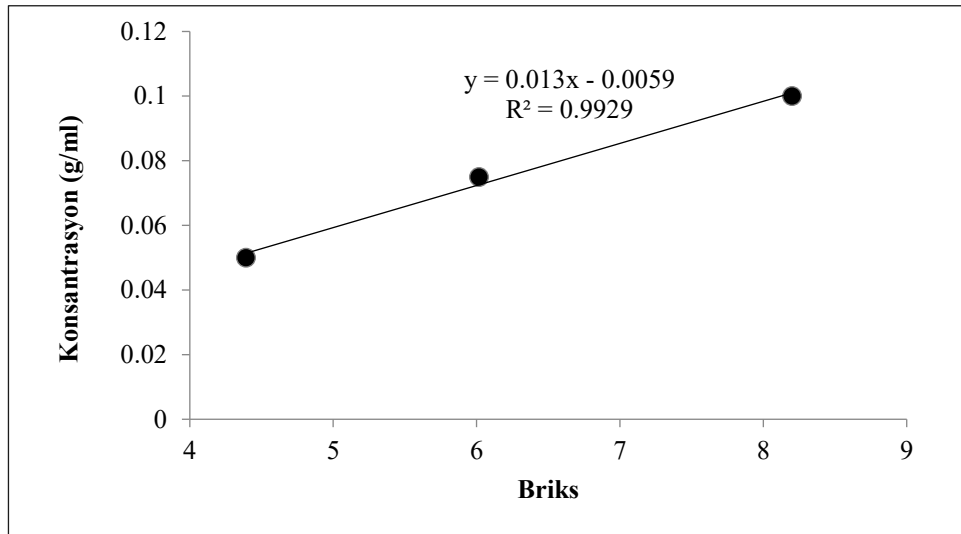
2.2.2.2. Model Toz Sütlaç Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi

Seçilen model ürünlerden biri olan toz sütlaç ürününü hazırlamak için şeker, pirinç ve mısır nişastası farklı oranlarda kullanılarak üç model ürün oluşturulmuştur. Model ürün karışımlarına ait bileşenler ve miktarları Tablo 2.5'te gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Model Toz Sütlaç ürün karışımlarına ait bileşen miktarları

Ürün Bileşeni	Toz Sütlaç 1	Toz Sütlaç 2	Toz Sütlaç 3
Şeker (%)	50	70	30
Pirinç (%)	30	20	40
Nişasta (%)	20	10	30

Model toz sütlaç ürünleri V3L kodlu mikserde farklı karışım süresi ve mikser doluluk oranlarında karıştırılarak hazırlanmıştır. Mikserden alınan 100 g'lık örneklerdeki pirinçler kaba elek ile elenerek uzaklaştırılmış ve tartılmıştır. Böylece pirinç miktarı tespit edilmiştir. Ardından şeker ve nişastadan oluşan karışımda şeker miktarını tayin etmek amacıyla suda çözünür kuru madde (Bx°) analizi yapılmıştır. Bu amaçla örnek içinden alınan 1g toz karışım 10 ml saf su eklenerek şeker tamamen çözünene kadar vortekslenmiş ve 2500 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir [110]. Briks ölçümleri masa tipi otomatik refraktometre (Reichert AR700, Automatic Refractometer, ABD) ile yapılmıştır. 100 g'lık her bir örnek için iki alt örnek hazırlanmış ve ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Okunan briks değerlerinden şeker miktarını tespit etmek amacıyla kalibrasyon eğrisi kullanılmıştır. Toz şeker ürününden kalibrasyon eğrisi (Şekil 2.6) oluşturmak amacıyla üç farklı konsantrasyonda şeker çözeltisi hazırlanmış ve çözeltilerin briks değerleri aynı masa tipi otomatik refraktometre kullanılarak belirlenmiştir. Toplam örnek ağırlığından pirinç ve şeker miktarları çıkarılarak kalan miktar nişasta olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.6. Model toz sütlaç ürününde şeker miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi

2.2.2.3. Model Toz Çorba Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi

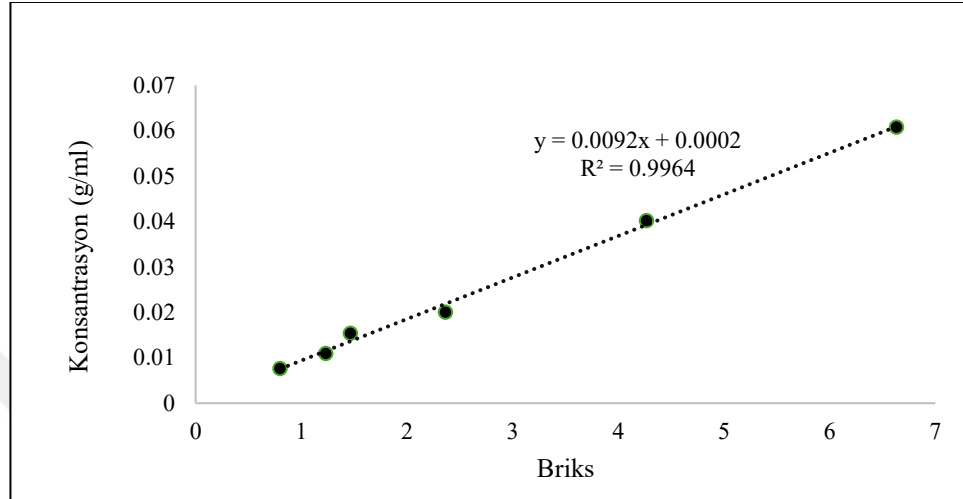
Çalışma kapsamında karışımı yapılan model ürünlerden bir diğeri olan toz çorba karışımı şehriye, tuz ve nişasta bileşenlerinden oluşturulmuştur. Ürüne ait reçete bileşenleri Tablo 2.6'da listelenmiştir.

Tablo 2.6. Model Toz Çorba ürün karışımına ait bileşen miktarları

Ürün Bileşeni	Miktar (%)
Şehriye	60
Tuz	15
Nişasta	25

Model toz çorba ürünü V3L kodlu mikserde farklı karışım süresi ve mikser doluluk oranlarında karıştırılarak hazırlanmıştır. Mikser içinden alınan örnekler bileşen konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. 100g'lık her bir örnek eleme yöntemiyle şehriyelerden arındırılmış ve tartılarak şehriye miktarı kaydedilmiştir. Geriye kalan kısımda nişasta ve tuzdan oluşan örnekler briks analizine tabi tutulmuştur. Örneklerin briks analizi model toz sütlaç ürününde belirtilen yöntemle belirlenmiştir. 100 g'lık her bir örnek için iki alt örnek hazırlanmış ve ölçümler üç kez tekrarlanmıştır. Briks ölçümleri otomatik refraktometre (Reichert AR700, Automatic Refractometer, ABD) ile

yapılmıştır. Okunan briks değerlerinden tuz miktarını bulabilmek amacıyla farklı konsantrasyonlardaki tuz çözeltisinin briks değerleri aynı rekraktometre ile ölçülerek kalibrasyon grafiği elde edilmiştir (Şekil 2.7). Toplam örnek ağırlığından şehriye ve tuz miktarları çıkarılarak kalan miktar nişasta olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.7. Model toz çorba ürününde tuz miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi

2.2.2.4. Model Toz Puding Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi

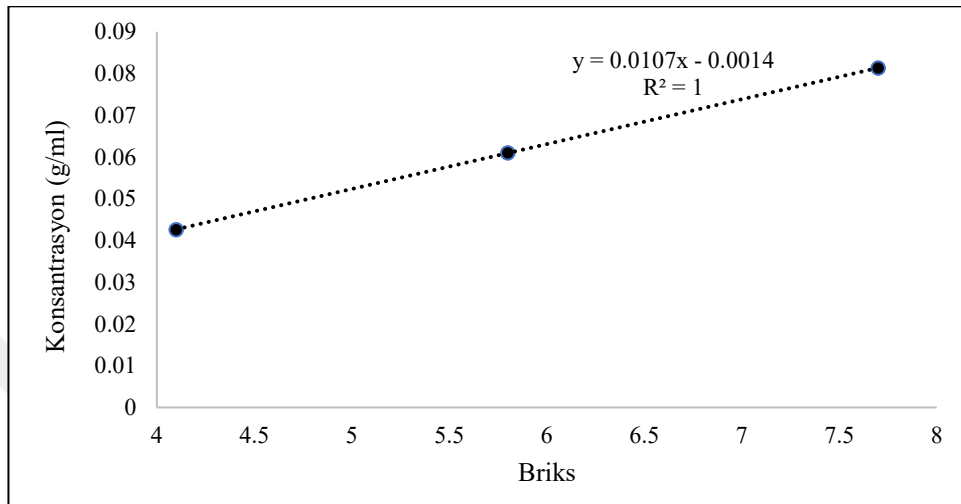
Çalışmada incelenen model ürünlerden bir diğeri meyveli toz puding ürünü olarak belirlenmiştir. Meyve olarak kurutulmuş üzüm kullanılmış, aşağıdaki tabloda belirtilen bileşenlerle V3L kodlu mikserde farklı karışım süresi ve mikser doluluk oranlarında karışımlar hazırlanmıştır.

Tablo 2.7. Model Toz Puding ürün karışımına ait bileşen miktarları

Ürün Bileşeni	Miktar (%)
Meyve (sarı üzüm)	15
Şeker	55
Nişasta	30

Mikserden alınan örnekler model toz sütlaç ürününde kullanılan yöntemle önce eleme işlemine tabi tutulmuştur. Meyve parçacıklarından ayrılan toz karışımda şeker miktarını

belirlemek amacıyla briks analizi yapılmış ve kalibrasyon eğrisinden yararlanılmıştır (Şekil 2.8). Toplam örnek ağırlığından meyve ve şeker miktarları çıkarılarak kalan miktar nişasta olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.8. Model toz puding ürünüde şeker miktarı tespitine yönelik oluşturulmuş kalibrasyon eğrisi

2.2.2.5. Model Aşure Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi

Granüler yapıya sahip nohut, fasulye, buğday ve kuru üzümünden oluşturulan model toz aşure ürününü hazırlamak için kullanılan reçete Tablo 2.8’de gösterilmiştir. V3L kodlu mikserde farklı karışım süresi ve mikser doluluk oranlarında ürünler hazırlanmıştır. Model toz aşure karışımından numune alma sondası ile alınan 100 g’lık her bir numunenin bileşenleri elle seçilmiş ve tartılarak miktarları belirlenmiştir.

Tablo 2.8. Model Aşure ürün karışımına ait bileşen miktarları

Ürün Bileşeni	Miktar (%)
Siyah Üzüm	14.29
Nohut	19.05
Fasulye	19.05
Buğday	47.62

2.2.2.6. Model Toz İçecek Ürün Karışımının Hazırlanması ve Analizi

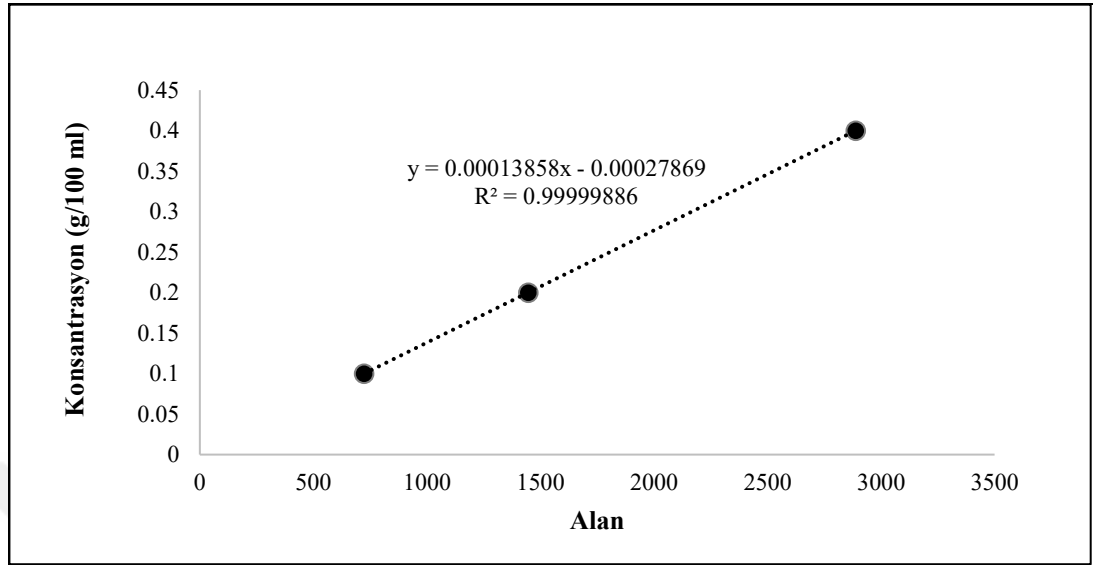
Çalışma kapsamında diğer bir model ürün olan toz içecek için şeker, sitrik asit ve askorbik asit Tablo 2.9’da gösterilen reçete doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu karışımı yapmak amacıyla mevcut V3L mikserine ilave olarak 8 L hacimli ve içerisinde dönen bir mili olan (V8L olarak kodlanmış) başka bir V-tipi mikser (Lleal s.a, İspanya) ile mutfak tipi bir robot (Beko Robokit 2154, Türkiye) daha kullanılmıştır. Kullanılan üç mikser için %50 doluluk oranında ve farklı sürelerde karışımlar yapılarak örnekler analiz edilmiştir.

Tablo 2.9. Model Toz İçecek ürün karışımına ait bileşen miktarları

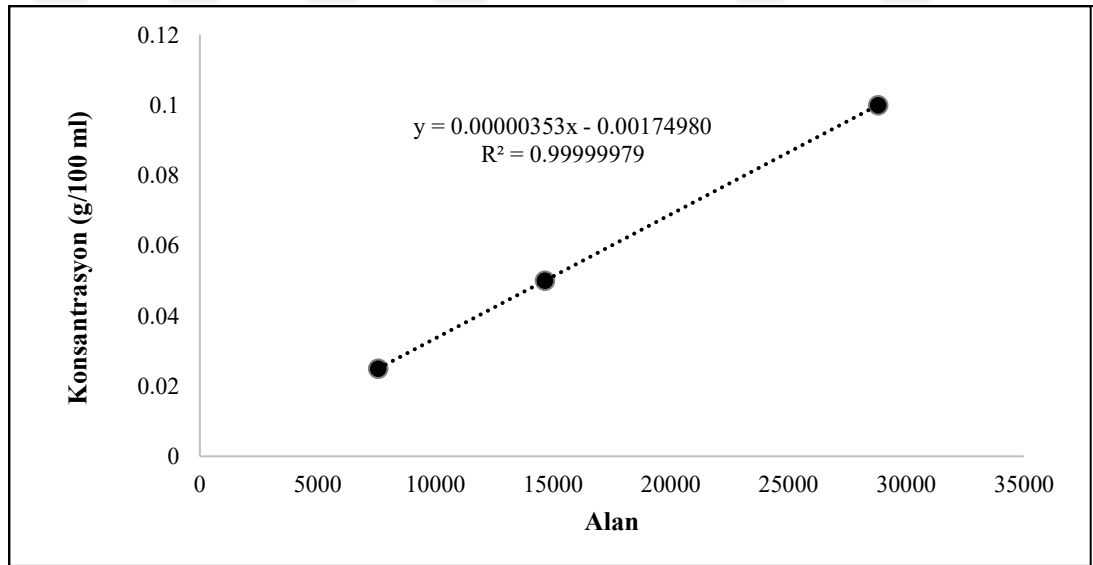
Ürün Bileşeni	Miktar (%)
Şeker	63.15
Sitrik asit	26.32
Askorbik asit	10.53

Karışımı yapılan model ürün örneklerinin bileşenlerinden askorbik ve sitrik asit miktarları HPLC cihazı ile belirlenmiştir. Bu amaçla daha önce Scherer et al., tarafından bildirilen yöntemde küçük bazı değişiklikler yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir [111]. Kullanılan sitrik asit ve askorbik asit örneklerinden 3 seviyeli kalibrasyon eğrisi (Şekil 2.9–2.10) oluşturulmuş ve örneklerdeki bileşen konsantrasyonları bu eğri aracılığıyla hesaplanmıştır. Mikser içerisinden alınan örneklerden ağzı kapaklı şişe içerisine 1 g numune tartılarak 100 ml ultra saf suda çözündürülmüş ve 0.45 µm şırınga filtreden geçirilmiştir.

HPLC (Agilent, 1100, ABD) ile asit analizinde ACE® 5 C18 kolon (25 cm x 4.6 mm, 5 µm, Advances Chromatography Technologies, Aberdeen, İskoçya), Diode Array Detector (DAD) kullanılmış ve kromatogramlar askorbik asit için 250 nm, sitrik asit için 210 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Hareketli faz olarak 0.01 mol/L KH₂PO₄ (pH=2.5; o-fosforik asit ile ayarlanmış) tampon çözeltisi kullanılmış ve 0.5 ml/dk akış hızında, 10 µL enjeksiyon yapılmıştır.



Şekil 2.9. Model toz içecek ürünüde sitrik asit konsantrasyonunu belirlemek amacıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisi



Şekil 2.10. Model toz içecek ürünüde askorbik asit konsantrasyonunu belirlemek amacıyla oluşturulan kalibrasyon eğrisi

2.2.3. Model Toz Gıda Ürünlerinin Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu için Kullanılan Matematiksel Modellemeler

2.2.3.1. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi, deneysel sonuçların değerlendirilmesinde kalite karakteristiği olarak Sinyal/Gürültü (S/N) oranını kullanmaktadır. Bu yöntemde, "Sinyal" olarak ortalama değerler tanımlanırken, "Gürültü" standart sapma ile ifade edilmektedir. S/N oranı, bu iki değer birbirine oranı olup, desibel (dB) cinsinden belirtilmektedir [112]. Yüksek S/N oranı, artan kaliteyi tanımlamaktadır ve her durumda en yüksek S/N oranı tercih edilmektedir. Taguchi yönteminde S/N oranı için en çok kullanılan üç yöntem “en küçük-en iyi”, S/N_S , (smaller-the-better), “en büyük-en iyi”, S/N_L , (larger-the-better) ve “hedef değer-en iyi”, S/N_N , (nominal-the-best) kriterleridir. Bu kriterler aşağıdaki denklemler aracılığı ile ifade edilmektedir [113].

$$S/N_S = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (21)$$

$$S/N_L = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (22)$$

$$S/N_N = 10 \times \log \left(\frac{\bar{Y}^2 - \frac{s^2}{n}}{s^2} \right) \quad (23)$$

Denklemlerde kullanılan Y_i deneysel sonucu, $\bar{Y}$ sonuçların ortalama değerini, s standart sapma değerini ve n deney sayısını belirtmektedir.

Taguchi yöntemi, ortogonal diziler olarak tanımlanan standart bir tablo kullanarak farklı faktörlerin etkilerini ve bu faktörler arasındaki etkileşimi en az sayıda deney ile ortaya koymaktadır. Faktör sayısı ve bu faktörlerin seviyeleri arttıkça yapılması gereken deney sayısı da artmaktadır, Taguchi ortogonal dizileri artan maliyetleri azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında karıştırıcılar için en uygun karışım süresini belirlemek amacıyla mikserin doluluk oranı (DO) ve karışım süresi (KS) faktör olarak seçilmiştir. Bu faktörlerin alt seviyeleri Tablo 2.3'te yer almaktadır. Çalışmada uygulanan Taguchi yöntemi deneysel maliyeti azaltmak için değil, kriterleri ağırlıklandırmak ve karışım

süresini optimize etmek amacıyla kullanılmıştır. Taguchi yönteminden elde edilen S/N değerleri bileşenlerin ortalama miktarları için “hedef değer – en iyi”, ortalama CV değerleri için ise “en küçük – en iyi” prensipleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Taguchi metodu sonuçları ile ürünlerin optimum karışım noktaları tespit edilmiştir. Buna ilave olarak en uygun karışım süresinin çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi ile seçiminde Taguchi ve Entropi yöntemlerinden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır.

Çalışmada hazırlanan model ürünlerden toz sütlaç, toz çorba, toz puding ve aşure ürünleri için Taguchi L₂₅ ortogonal dizisinden faydalanılmıştır. Bu yöntemde iki faktörlü ve beşer seviyeli, aynı zamanda 5² tam faktöriyel tasarımı ifade eden düzen oluşturulmuş ve Tablo 2.10’da listelenmiştir.

Tablo 2.10. Model toz gıda ürünleri için oluşturulan Taguchi L₂₅ deneme dizaynı

Karışım Sıra No	Mikser Doluluk Oranı (%)	Karışım Süresi (dk)
1	50	2
2	50	5
3	50	10
4	50	20
5	50	30
6	60	2
7	60	5
8	60	10
9	60	20
10	60	30
11	70	2
12	70	5
13	70	10
14	70	20
15	70	30
16	80	2
17	80	5
18	80	10
19	80	20
20	80	30
21	90	2
22	90	5
23	90	10
24	90	20
25	90	30

2.2.3.1.1. Taguchi Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan ağırlık belirleme yöntemleri, kriterlerin önceliklerinin tespit edilmesinde ve karar vericiler için en uygun ve tatmin edici sonucun elde edilmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Kriterlerin önem derecelerinin belirlendiği öznel ve nesnel pek çok ağırlık belirleme yöntemi mevcuttur [90,114,115]. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan kriter ağırlıklandırma teknikleri AHP, TOPSIS, bulanık mantık, delfi, PCA ve entropidir. Yapılan çalışmalarda Taguchi yönteminin de kriter ağırlıklandırmada objektif bir yöntem olarak kullanılabileceği yer almaktadır [116–118].

Mühendislik problemlerinde sonuca etki eden faktörlerin etki dereceleri birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle kriterlerin önem durumuna göre ağırlıklandırılması gerekmektedir. Taguchi yönteminde S/N oranları kriter ağırlıklandırma amacıyla kullanılmaktadır. Taguchi analizinde her bir faktör ve bu faktörlere ait seviyelerin S/N değerleri tespit edilir. Ardından seviyeler arasındaki en yüksek ve en düşük S/N değerleri dikkate alınarak *Delta* hesaplanır. Her bir tepki için toplam Delta değeri tespit edilir. Sonuca etki eden tüm faktörlerin delta değerleri toplanarak genel delta değeri hesaplanır.

Her bir faktöre ait toplam deltanın genel deltaya oranı kriterin ağırlık katsayısı olarak kaydedilir.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^p Delta_{i,j}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p Delta_{i,j}} \quad (24)$$

Denklemden W_i , kriter ağırlığını, p parametre sayısını, m tepki sayısını ve Delta S/N oranları arasındaki farkı ifade etmektedir.

2.2.3.2. Entropi Kriter Ağırlıklandırma Yöntemi

Yöntemin uygulanması aşağıdaki adımları içermektedir.

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması

m tane alternatif ve n tane kriter için X_{ij} elemanı matriste yer alan i alternatifinin j kriterine göre aldığı değeri temsil etmek üzere X karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

2. Adım: Normalizasyon

Karar matrisinde yer alan kriterlerin farklı ölçüm birimlerine sahip olması nedeniyle ortak bir aralıkta yeniden ifade edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılarak normalize edilmiş değerler (p_{ij}) hesaplanır.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \forall i, j \quad (25)$$

Normalize edilmiş yeni değerlerle matris aşağıdaki formda yeniden oluşturulur.

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Adım: Entropi değerlerinin hesaplanması

Kriterlere ait entropi, e_j , değerleri Denklem 26 kullanılarak hesaplanır [119].

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) \quad (26)$$

Bu denklemde k , $0 \leq e_j \leq 1$ ifadesini sağlayan bir sabit olup, $k = 1/\ln(m)$ formülü yardımıyla bulunmaktadır.

4. Adım: Farklılaşma derecelerinin bulunması

Her bir kriterin sahip olduğu bilginin farklılık derecesi, d_j , aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$d_j = 1 - e_j \quad (27)$$

d_j değeri ne kadar büyükse, kriterin önem derecesi de o kadar büyük olmaktadır [120,121].

5. Adım: Ağırlıkların hesaplanması

Kriterlerin önem ağırlıkları, w_j Denklem 28 kullanılarak hesaplanır [119,122].

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (28)$$

2.2.3.3. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz yönteminin adımları aşağıda sıralanmıştır.

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması

m sayıda alternatif ve n sayıda kriter için i. alternatif $y_{ij} = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ şeklinde tanımlanır. Burada y_{ij} , i alternatifinin j kriterine göre aldığı değeri temsil etmektedir.

$$y_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

2. Adım: Normalizasyon

Farklı ölçüm birimlerindeki deneysel sonuçlar standart bir aralıkta (0-1) yeniden oluşturulur. Normalizasyon için Denklem 29, 30 ve 31 “en büyük – en iyi” (larger-the-better), “en küçük – en iyi” (smaller-the-better) ve “hedef değer – en iyi” (nominal-the-best) çözümleri için kullanılmaktadır.

$$X_{ij} = \frac{\max y_{ij} - y_{ij}}{\max y_{ij} - \min y_{ij}} \quad (29)$$

$$X_{ij} = \frac{y_{ij} - \min y_{ij}}{\max y_{ij} - \min y_{ij}} \quad (30)$$

$$X_{ij} = 1 - \frac{|y_{ij} - y_{ij}^*|}{\max\{\max y_{ij} - y_{ij}^*; y_{ij}^* - \min y_{ij}\}} \quad (31)$$

Bu denklemlerde kullanılan X_{ij} normalize edilmiş yeni değeri, $\max y_{ij}$ $\min y_{ij}$ ise X_{ij} için sırasıyla en büyük ve en küçük değeri ifade etmektedir. y_{ij}^* hedef değer-en iyi seçiminde hedef değeri belirtmektedir.

3. Adım: Uzaklık matrisinin oluşturulması

Referans değerler (X_{0j}) ile normalize edilen değerler (X_{ij}) arasındaki farkın (Δ_{0j}) bulunmasıyla uzaklık matrisi oluşturulur [123,124].

$$\Delta_{0j} = |X_{0j} - X_{ij}| \quad (32)$$

$$\Delta_{ij} = \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \Delta_{m1} & \Delta_{m2} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

4. Adım: Gri İlişki Katsayısının (GİK) hesaplanması

İdeal durumla normalize edilmiş deneysel veriler arasındaki ilişki Gri İlişki Katsayısı, ζ_i , ile belirlenmektedir. GİK hesaplanarak X_{ij} ve X_{0j} arasındaki yakınlık tanımlanmaktadır [89].

$$\zeta_i = \frac{\Delta_{min} + \varphi \cdot \Delta_{max}}{\Delta_{0j} + \varphi \cdot \Delta_{max}} \quad (33)$$

$$\Delta_{0j} = |X_{0j} - X_{ij}| \quad (34)$$

$$\Delta_{max} = \max_i \max_j |X_{0j} - X_{ij}| \quad (35)$$

$$\Delta_{min} = \min_i \min_j |X_{0j} - X_{ij}| \quad (36)$$

Verilen denklemlerde ζ_i , Gri İlişki Katsayısı, Δ_{min} ve Δ_{max} uzaklık matrisindeki en düşük ve en yüksek değeri, φ ifadesi ise ayırım katsayısı olarak tanımlanan ve 0-1 arasında değişen, bilimsel çalışmalarda genellikle 0.5 olarak kabul gören sabit bir sayıyı göstermektedir [116,117,123,125].

5. Adım: Gri İlişki Derecesinin (GİD) hesaplanması

GİK değerlerinin hesaplanması sonrasında GİD, γ , kriterlerin önem dereceleri, W , (ağırlık katsayıları) göz önüne alınarak n sayıdaki veri için Denklem 37 yardımıyla ortaya konmaktadır [90]. Kriterlerin ağırlık katsayıları toplamı 1'e eşit olmaktadır. Elde edilen GİD değeri en büyük olan deney noktası en iyi sonuç olarak kabul edilmektedir [126].

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n W_j \zeta_i \quad (37)$$

$$W_j = \sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (38)$$

Çalışma kapsamında kriterlerin ağırlık katsayıları Entropi ve Taguchi yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

6. Adım: Yeni faktör seviyelerinin belirlenmesi

GİA yönteminde bir sonraki aşama optimum parametrelerin seçimidir. Bu amaçla önceki adımda belirlenen GİD verileri kullanılarak her bir faktör için optimum seviye belirlenmektedir. Her bir faktör ve seviyelerine ait yeni değerler hesaplanarak genel optimum parametre seviyeleri oluşturulmaktadır. Örneğin karıştırma prosesine etki eden faktörlerden mikserin doluluk oranı için 5 seviye (%50, 60, 70, 80, 90) bulunmaktadır. Bu seviyelerden ilki olan %50 dolulukta 5 farklı karışım süresine ait 5 GİD değeri yer almaktadır. Bu 5 GİD değerinin ortalaması %50 doluluk için yeni değer olarak belirlenmekte ve diğer seviyeler için de benzer hesaplamalar yapılmaktadır. Diğer taraftan karışıma etki eden diğer faktör olan karışım süresi için de oluşturulan 5 seviye (2, 5, 10, 20, 30 dk) bulunmaktadır. Bu seviyelerden ilki olan 2 dakikalık karışım için farklı doluluklardan elde edilen 5 farklı GİD değerinin ortalaması bu seviye için yeni değer olarak hesaplanmaktadır. Diğer karışım süreleri için de benzer hesaplamalar yapılarak faktör ve seviyelerine ait yeni GİD değerleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu seviyeler içinde her bir faktörün en yüksek seviyesi optimum faktör seviyesi olarak ele alınmaktadır. Ayrıca her bir faktör için oluşturulan yeni değerler arasında en yüksek ve en düşük değerler arasındaki fark (Max-Min) hesaplanarak en yüksek farka sahip faktör en etkin parametre olarak seçilmekte ve diğer faktörler de bu farka göre sıralanmaktadır.

Genel optimum faktör seviyelerine ait GİD'nin tahmin edilmesinde Denklem 39'dan yararlanılmaktadır.

$$\hat{Y} = Y_{0m} + \sum_{i=1}^k \bar{Y}_{0i} - Y_{0m} \quad (39)$$

Denklemden $\hat{Y}$ tahmini GİD değerini, Y_{0m} genel GİD ortalamasını, $\bar{Y}_{0i}$ genel optimum seviyelerdeki GİD değerini belirtmekte olup, k değeri faktör sayısını ifade etmektedir.

7. Adım: Varyans analizinin yapılması

Faktörlerin etki derecelerini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmaktadır. F değeri en yüksek olan faktör karışım işlemine etkisi en yüksek parametre olarak belirlenmektedir. Son olarak genel optimum faktör seviyelerinde GİD tahminlemesi ve doğrulaması yapılmaktadır.

2.2.4. İstatistiksel Analizler

Çalışmada kullanılan toz ve granüler bileşenlerin genel özellikleri tek faktör varyans analizi ile değerlendirilmiş, gruplar arası fark Tukey testi ile belirlenmiştir. Parametreler arasındaki ilişkiler korelasyon (Pearson) analizi ile değerlendirilmiştir. Temel Bileşenler Analizi (PCA) ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) XLSTAT programı (XLSTAT, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgur karışımını incelemek amacıyla dört faktörlü otuz deneme noktası bulunan Cevap Yüzey metodu ile Box-Behnken deney tasarımı planlanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen tepkiler Design Expert (Versiyon: 7.0, StatEase, ABD) programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Model toz sütlaç, toz çorba, toz puding, toz içecek ve aşure ürünlerinin değerlendirilmesinde Minitab 18 (Minitab Ltd., Coventry, İngiltere) istatistik paket programı kullanılmıştır. İki faktör varyans analizi ile faktörlerin etkisi incelenmiş, gruplar arası fark $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanarak tespit edilmiştir. Taguchi metodu uygulamaları için yine Minitab 18 programından yararlanılmıştır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri

3.1.1. Toz Gıdaların Nem Özellikleri

Gıda sanayisinde sıklıkla kullanılan bazı toz ve granüler ürünlerin akış özelliklerini etkileyen fiziksel parametrelere yönelik elde edilen bulgular Tablo 3.1’de listelenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde % nem içeriği en düşük olan ürünler şeker (0.013 ± 0.001), askorbik asit (0.021 ± 0.002) ve sitrik asit (0.047 ± 0.001) olarak tespit edilmiş ve bu üç bileşenin nem içeriklerindeki fark istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p > 0.05$). Nem içeriği en yüksek ürün ise 14.077 ± 0.221 değeri ile siyah üzüm olmuştur. Tüm ürünlerin nem içerikleri dikkate alındığında aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$).

3.1.2. Toz Gıdaların Su Aktivitesi (a_w) Özellikleri

Tez kapsamında kullanılan ürünlerin su aktivitesi değerleri (a_w) incelendiğinde en düşük sonuç malik asit ve sarı üzüm için 0.165 ± 0.001 olurken, en yüksek ise sodyum asit pirofosfat (SAPP) için 0.304 ± 0.004 olarak kaydedilmiştir. Tüm ürünlerin a_w değerleri incelendiğinde aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$).

3.1.3. Toz Gıdaların Yığın Yoğunluğu Özellikleri

Çalışmalarda kullanılan ürünlerden dökme yığın yoğunluğu en düşük olan 0.213 g/cm^3 değeri ile sarı üzüm iken en yüksek değer 1.189 g/cm^3 ile sodyum bikarbonata ait olarak bulunmuştur. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu analizinde en düşük ve en yüksek değerler sarı üzüm için 0.247 g/cm^3 ile SAPP için 1.412 g/cm^3 olmuştur.

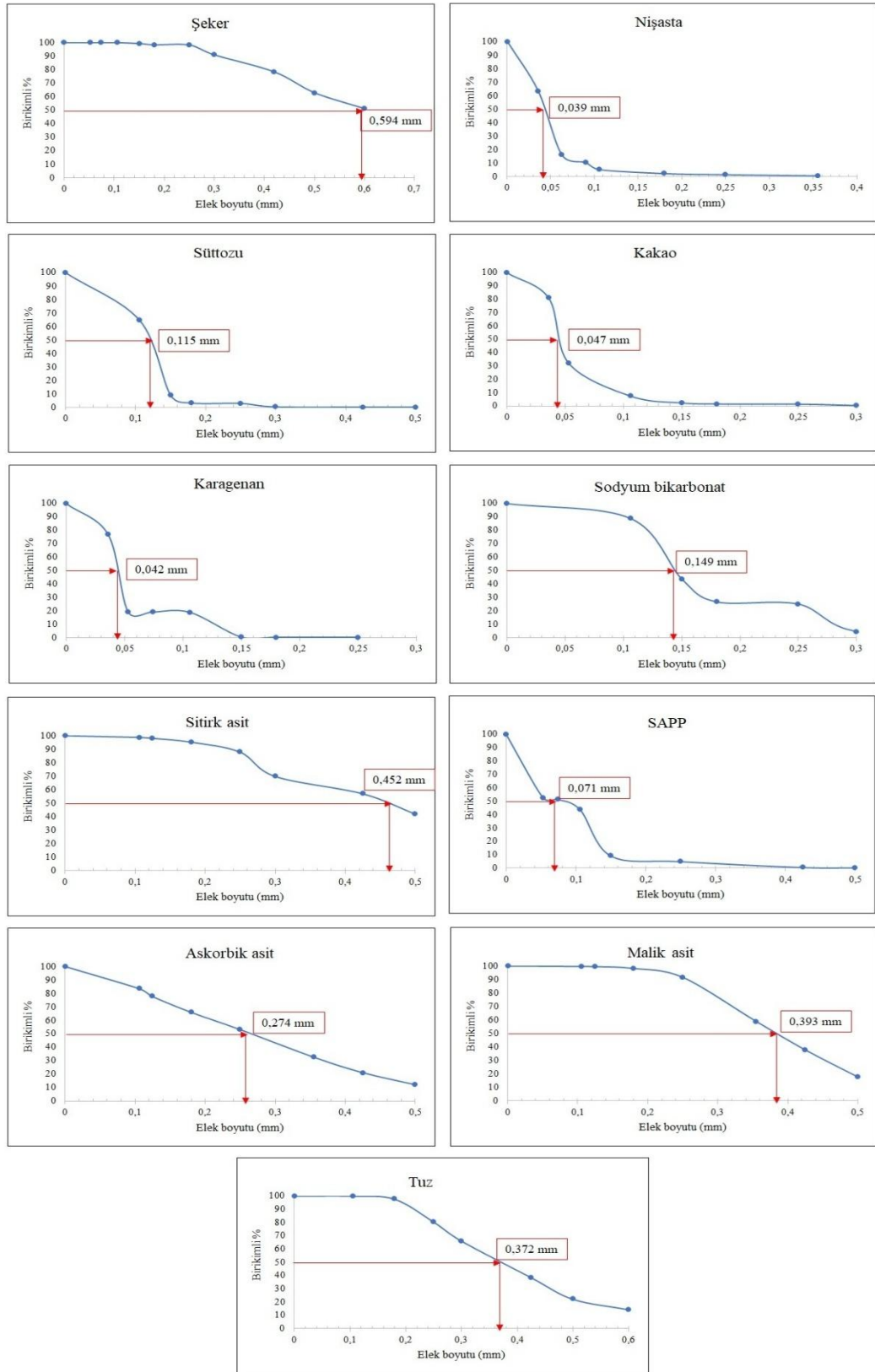
3.1.4. Toz Gıdaların Partikül Boyutu Özellikleri

Çalışmada kullanılan gıda ürünlerinden toz halde bulunanların ortalama partikül boyutu (d_{50}) elek analizi ile tespit edilmiş ve sonuçlar Şekil 3.1’de boyut dağılımı olarak grafikleştirilmiştir. Toz ürünlerden şeker ($d_{50}:0.594 \text{ mm}$), sitrik asit ($d_{50}:0.452 \text{ mm}$), malik asit ($d_{50}:0.393 \text{ mm}$) ve tuz ($d_{50}:0.372 \text{ mm}$) en büyük partikül boyutu değerine sahipken nişasta ($d_{50}:0.039 \text{ mm}$), karagenan ($d_{50}:0.042 \text{ mm}$) ve kakao ($d_{50}:0.047 \text{ mm}$) en küçük partikül boyutuna sahip toz gıdalar olmuştur. Granül halde bulunan gıda ürünlerinin tanecik boyutu kumpas yardımıyla belirlenmiş ve Tablo 3.2’de listelenmiştir. Ürünlerin d_{50} değerleri arasında istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) farklar saptanmıştır.

Tablo 3.1. Toz ve granüler gıdaların bazı fiziko-kimyasal özellikleri

Materyal	Nem (%)	Su aktivitesi (a_w)	Dökme yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu (g/cm ³)
Şeker	0.013 ± 0.001 ^h	0.206 ± 0.004 ^f	0.898 ± 0.001 ^c	0.959 ± 0.003 ^f
Nişasta	2.310 ± 0.079 ^g	0.201 ± 0.002 ^f	0.488 ± 0.005 ^k	0.722 ± 0.002 ^l
Süttozu	5.940 ± 0.198 ^f	0.273 ± 0.001 ^b	0.558 ± 0.003 ⁱ	0.643 ± 0.003 ^m
Kakao	5.100 ± 0.014 ^f	0.251 ± 0.003 ^{cd}	0.415 ± 0.001 ^l	0.599 ± 0.001 ⁿ
Karagenan	10.400 ± 0.028 ^{bc}	0.281 ± 0.001 ^b	0.548 ± 0.001 ⁱ	0.804 ± 0.002 ⁱ
Sodyum bikarbonat	11.120 ± 0.311 ^b	0.278 ± 0.003 ^b	1.189 ± 0.002 ^a	1.362 ± 0.001 ^b
Sitrik asit	0.047 ± 0.001 ^h	0.207 ± 0.005 ^f	0.882 ± 0.008 ^c	0.986 ± 0.005 ^e
Sodyum asit pirofosfat	0.297 ± 0.015 ^h	0.304 ± 0.004 ^a	0.960 ± 0.003 ^b	1.412 ± 0.007 ^a
Askorbik asit	0.021 ± 0.002 ^h	0.205 ± 0.006 ^f	0.818 ± 0.001 ^d	1.155 ± 0.004 ^d
Malik asit	0.286 ± 0.017 ^h	0.165 ± 0.001 ^g	0.681 ± 0.000 ^h	0.799 ± 0.003 ^{ij}
Tuz	0.337 ± 0.027 ^h	0.175 ± 0.004 ^g	0.974 ± 0.006 ^b	1.190 ± 0.004 ^c
Şehriye	8.447 ± 0.033 ^d	0.199 ± 0.007 ^f	0.711 ± 0.005 ^g	0.788 ± 0.000 ^j
Pirinç	6.888 ± 0.240 ^e	0.252 ± 0.010 ^c	0.792 ± 0.008 ^e	0.842 ± 0.005 ^h
Buğday	10.192 ± 0.041 ^{bc}	0.234 ± 0.004 ^e	0.787 ± 0.004 ^{ef}	0.838 ± 0.002 ^h
Siyah Üzüm	14.077 ± 0.221 ^a	0.239 ± 0.003 ^{cde}	0.512 ± 0.012 ^j	0.590 ± 0.009 ⁿ
Sarı Üzüm	5.752 ± 0.326 ^f	0.165 ± 0.001 ^g	0.213 ± 0.009 ^m	0.247 ± 0.003 ^o
Nohut	8.434 ± 0.069 ^d	0.238 ± 0.001 ^{cde}	0.684 ± 0.021 ^h	0.721 ± 0.007 ^l
Fasulye	9.680 ± 0.009 ^c	0.237 ± 0.010 ^{de}	0.716 ± 0.009 ^g	0.761 ± 0.005 ^k
Kaba Bulgur	8.607 ± 0.650 ^d	0.251 ± 0.005 ^{cd}	0.806 ± 0.001 ^{de}	0.840 ± 0.006 ^h
İnce Bulgur	9.552 ± 0.581 ^c	0.241 ± 0.001 ^{cde}	0.770 ± 0.002 ^f	0.860 ± 0.001 ^g

^{a-o}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05)



Şekil 3.1. Toz gıda ürünlerine ait ortalama partikül boyutu (elek) analizi sonuçları

Tablo. 3.2 Granüler gıda ürünlerine ait ortalama tanecik boyutu sonuçları

Materyal	Ortalama Tanecik Boyutu, d_{50} (mm)
Şehriye	4.619 ± 0.103^d
Pirinç	3.578 ± 0.139^e
Buğday	3.935 ± 0.112^e
Siyah Üzüm	9.250 ± 0.382^b
Sarı Üzüm	9.833 ± 0.278^a
Nohut	8.794 ± 0.125^{bc}
Fasulye	8.676 ± 0.105^c
Kaba Bulgur	3.000 ± 0.000^f
İnce Bulgur	1.000 ± 0.000^g

^{a-g}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$)

3.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri

Çalışma kapsamında tekstür cihazına bağlı toz akış probu ile ürünlerin akış özelliklerine dair veriler kaydedilmiştir. Bu analizlerden kohezyon testi ürünlerin akış sınıfını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu test sonucunda bulunan kohezyon indeksi değerine göre yapılan sınıflama Tablo 3.3'te yer almaktadır. Pirinç, kaba ve ince bulgur, sodyum bikarbonat, süttozu ve sitrik asit serbest akış sınıfında yer almıştır. Bu bileşenlerin kohezyon indeksi değerleri 11'in altında tespit edilmiştir. Şeker, nişasta, karagenan, malik asit ve askorbik asitin kohezyon indeksi değerleri ise 11-14 arasında olup kolay akabilen tozlar arasında yer almıştır. En yüksek kohezyon indeksi kakaoya ait olup çok zor akan tozlar sınıfında kategorize edilmiştir. Büyük granüller halinde bulunan üzüm, nohut, fasulye, şehriye ve buğdayın toz akış cihazında analizi mümkün olamamış dolayısı ile akış sınıfını gösteren kohezyon indeksi değeri hesaplanamamıştır. Kohezyon indeksi belirlenen ürünlerin değerleri arasında istatistiksel farklılıklar ortaya konmuştur ($p < 0.05$).

Tablo 3.3. Toz gıdaların kohezyon indeksi değerlerine göre akış özellikleri

Materyal	Kohezyon İndeksi	Akış Sınıfı
Şeker	11.40 ± 0.19 ^{ef}	Kolay akış
Nişasta	11.22 ± 0.29 ^{fg}	Kolay akış
Süttozu	9.68 ± 0.30 ^{hi}	Serbest akış
Kakao	20.29 ± 1.29 ^a	Çok zor akış
Karagenan	13.98 ± 1.05 ^{cd}	Kolay akış
Sodyum bikarbonat	9.86 ± 0.06 ^{ghi}	Serbest akış
Sitrik asit	9.21 ± 0.08 ⁱ	Serbest akış
Sodyum asit pirofosfat	14.71 ± 0.27 ^c	Orta akış
Askorbik asit	12.77 ± 0.32 ^{de}	Kolay akış
Malik asit	11.95 ± 0.69 ^{ef}	Kolay akış
Tuz	17.46 ± 0.20 ^b	Zor akış
Pirinç	6.83 ± 0.10 ^j	Serbest akış
Kaba Bulgur	9.20 ± 0.16 ⁱ	Serbest akış
İnce Bulgur	10.77 ± 0.06 ^{fgh}	Serbest akış

^{a-j}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05)

Tozların akış özelliklerini kategorize etmede kullanılan Carr indeksi ve Hausner oranı değerleri, gıdaların dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları dikkate alınarak hesaplanmış ve Tablo 3.4'te listelenmiştir. Bu verilere göre nişasta, karagenan ve sodyum asit pirofosfat (SAPP) çok zayıf akış özelliği göstermiştir. Granüler yapıya sahip ürünler ise (pirinç, nohut, fasulye, buğday vb) mükemmel akış derecesine sahip olarak tespit edilmiştir.

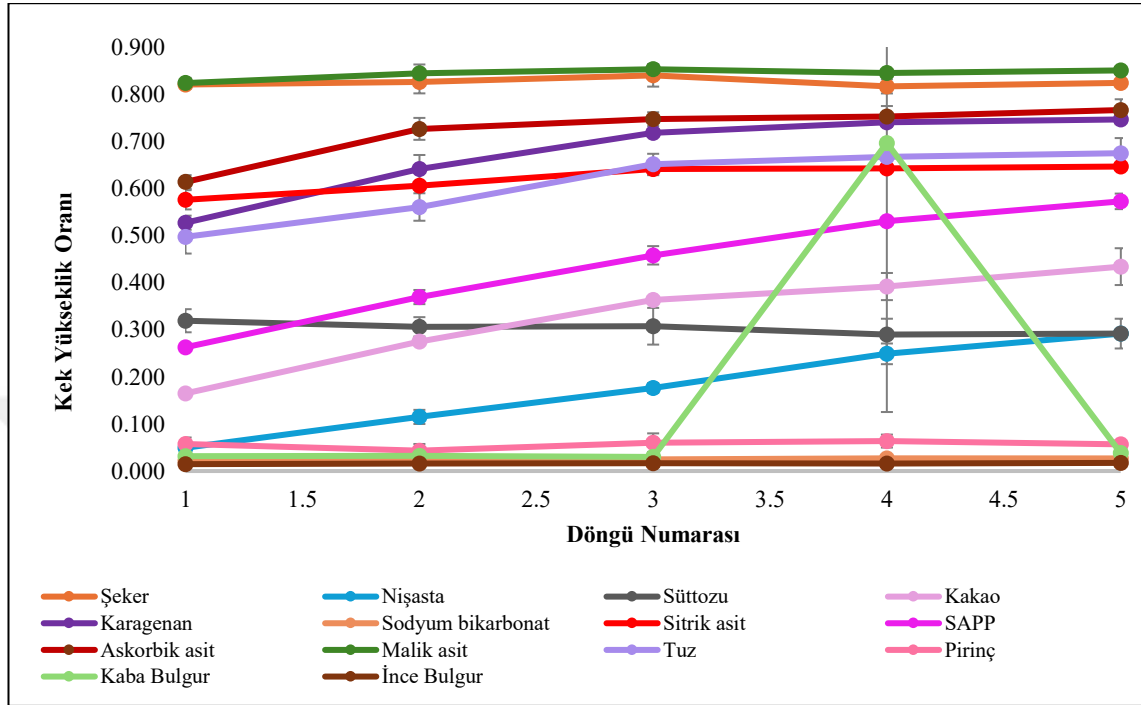
Tablo 3.4. Toz gıdaların Carr indeksi ve Hausner oranı değerlerine göre akış özellikleri

Materyal	Carr İndeksi	Akışkanlık	Hausner Oranı
Şeker	6.38 ± 0.18 ^g	Mükemmel	1.07 ± 0.00 ^g
Nişasta	32.48 ± 0.91 ^a	Çok zayıf	1.48 ± 0.02 ^a
Süttozu	13.22 ± 0.12 ^{de}	İyi	1.15 ± 0.00 ^{de}
Kakao	30.65 ± 0.12 ^{ab}	Zayıf	1.44 ± 0.00 ^{ab}
Karagenan	31.,80 ± 0.05 ^{ab}	Çok zayıf	1.47 ± 0.00 ^a
Sodyum bikarbonat	12.70 ± 0.21 ^{def}	İyi	1.15 ± 0.00 ^{def}
Sitrik asit	10.55 ± 0.35 ^{ef}	İyi	1.12 ± 0.00 ^{ef}
Sodyum asit pirofosfat	32.01 ± 0.33 ^{ab}	Çok zayıf	1.47 ± 0.01 ^a
Askorbik asit	29.14 ± 0.35 ^b	Zayıf	1.41 ± 0.01 ^b
Malik asit	14.82 ± 0.29 ^d	İyi	1.17 ± 0.00 ^d
Tuz	18.14 ± 0.67 ^c	Orta	1.22 ± 0.01 ^c
Şehriye	9.86 ± 0.61 ^f	Mükemmel	1.11 ± 0.01 ^f
Pirinç	5.88 ± 1.12 ^g	Mükemmel	1.06 ± 0.01 ^g
Buğday	6.05 ± 0.49 ^g	Mükemmel	1.06 ± 0.01 ^g
Siyah Üzüm	13.,23 ± 0.84 ^{de}	İyi	1.15 ± 0.01 ^{de}
Sarı Üzüm	13.72 ± 3.09 ^d	İyi	1.16 ± 0.04 ^d
Nohut	5.10 ± 2.02 ^g	Mükemmel	1.05 ± 0.02 ^g
Fasulye	5.87 ± 1.18 ^g	Mükemmel	1.06 ± 0.01 ^g
Kaba Bulgur	4.02 ± 0.59 ^g	Mükemmel	1.04 ± 0.01 ^g
İnce Bulgur	10.47 ± 0.18 ^{ef}	İyi	1.12 ± 0.00 ^{ef}

^{a-g}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05)

Toz akış özelliğini belirlemede kullanılan kekleşme testinde kek yükseklik oranı verileri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm ürünler kekleşme testine tabi tutulamamış ve granül yapıdaki ürünlerin bu prob ile analizi sağlanamamıştır. Ürünlerden şeker, süttozu, sodyum bikarbonat, malik asit, ince bulgur, kaba bulgur, pirinç için yapılan kek yükseklik oranı değerleri döngü sayısı açısından istatistiksel olarak anlamsız (p>0.05) diğer ürünler için ise anlamlı (p<0.05) farklar meydana getirmiştir. Özellikle süttozu, kakao, karagenan, SAPP ve tuz için döngü sayısı 1’den 5’e doğru arttıkça kek yükseklik oranlarında artış meydana gelmiştir. Dolayısı ile bu tozlar kek oluşturmaya yatkın görülmüştür. Tozlarda tespit edilen kek gücü ve ortalama kek gücü değerleri Tablo 3.5’te

listelenmiştir. Bu örneklerin kek gücü ve ortalama kek gücü değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklar saptanmıştır ($p<0.05$).



Şekil 3.2. Toz gıda örneklerinin kekleşme testinde kek yükseklik oranı değerleri

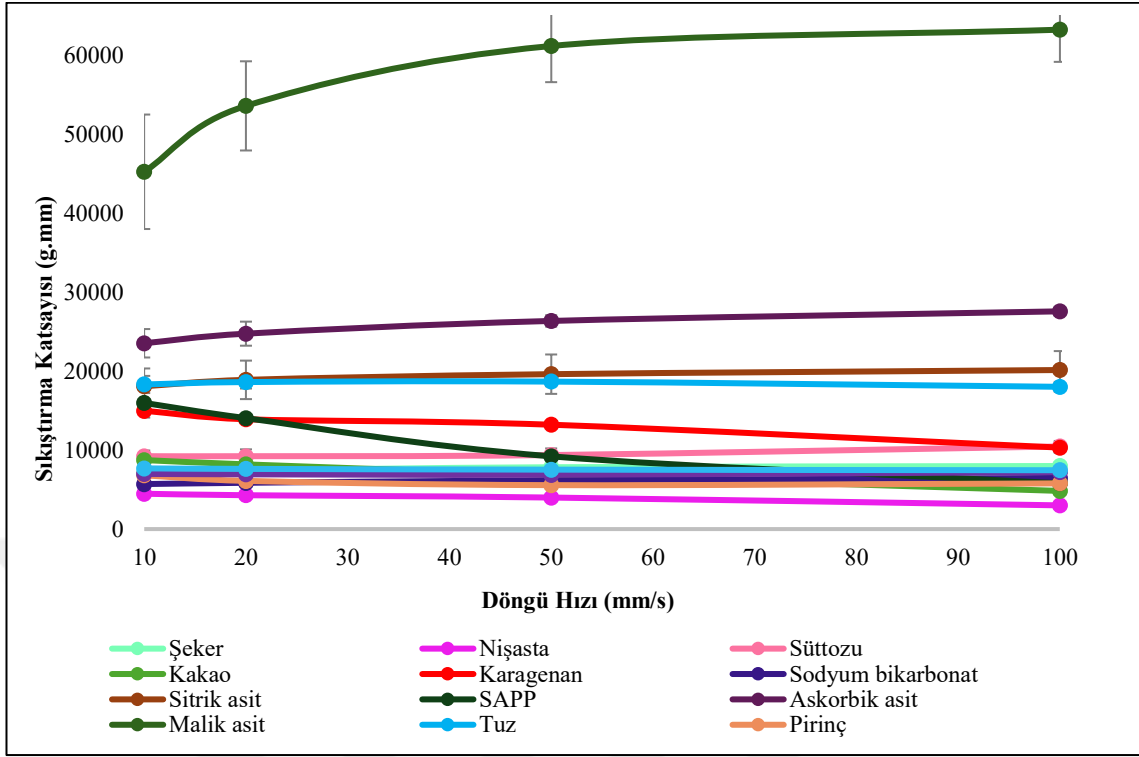
Toz akış özelliklerini belirlemede kullanılan diğer bir test hız bağımlılığı (PFSD, Powder Flow Speed Dependency) testidir. Bu testte artan hıza bağlı olarak tozların sıkıştırma katsayısında meydana gelen değişimler Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Sitrik asit, tuz, pirinç, kaba bulgur ve ince bulgur ürünleri için artan hıza bağlı olarak değişen sıkıştırma katsayısı arasındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) diğer tozlar için önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ayrıca nişastanın sıkıştırma katsayısı hızla ters orantılı olarak değişmiş; şeker, askorbik asit ve sitrik asitin katsayıları artan hızla birlikte artış göstermiştir.

Tablo 3.5. Toz gıda örneklerine ait kek ve ortalama kek gücü değerleri

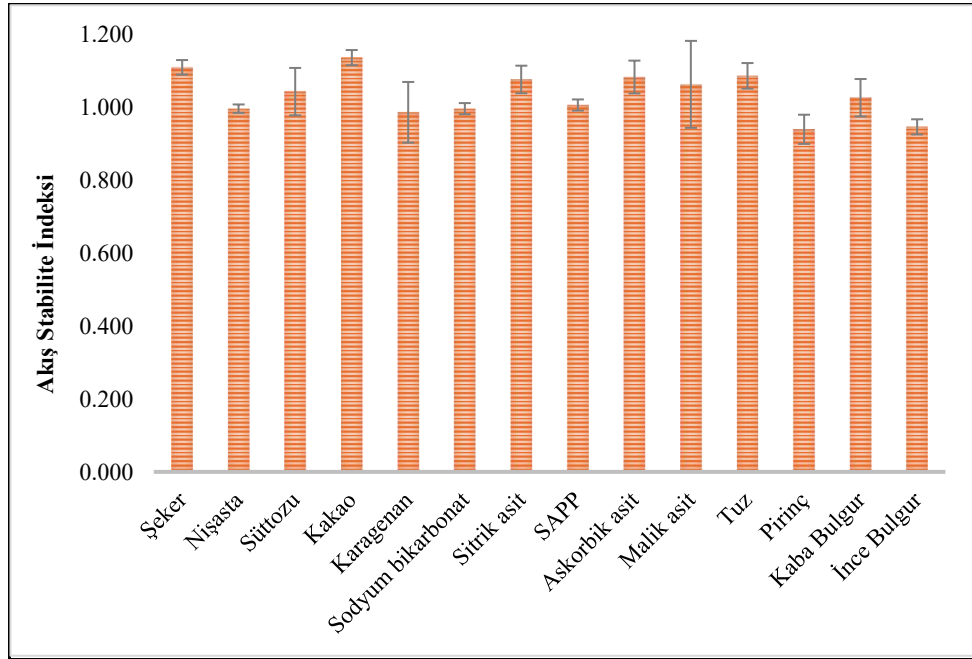
Materyal	Kek Gücü (g.mm)	Ortalama Kek Gücü (g)
Şeker	10215.003 ± 673.223 ^a	206.602 ± 11.630 ^a
Nişasta	346.319 ± 14.614 ^e	24.051 ± 0.961 ^f
Süttozu	321.023 ± 40.715 ^e	27.038 ± 2.884 ^f
Kakao	2160.027 ± 96.635 ^d	94.363 ± 11.035 ^d
Karagenan	4104.191 ± 447.880 ^c	100.320 ± 4.528 ^{cd}
Sodyum bikarbonat	0.000 ± 0.000 ^e	0.000 ± 0.00 ^g
Sitrik asit	1646.859 ± 8.659 ^d	44.950 ± 1.046 ^e
Sodyum asit pirofosfat	3516.240 ± 158.771 ^c	115.304 ± 2.580 ^{bc}
Askorbik asit	2131.548 ± 69.328 ^d	45.938 ± 1.372 ^e
Malik asit	6577.514 ± 333.379 ^b	119.334 ± 4.637 ^b
Tuz	2075.955 ± 168.337 ^d	53.075 ± 2.136 ^e
Pirinç	0.000 ± 0.000 ^e	0.000 ± 0.000 ^g
Kaba Bulgur	0.000 ± 0.000 ^e	0.000 ± 0.000 ^g
İnce Bulgur	0.000 ± 0.000 ^e	0.000 ± 0.000 ^g

^{a-f}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05)

Tozların hıza bağlı olarak gösterdiği akış davranışını belirleyen diğer bir faktör olan akış stabilite değeri çalışmada kullanılan tozlar için Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Akış stabilite değeri analiz sırasında ilk ve son 10mm/s hızlarındaki turlarda kaydedilen sıkıştırma katsayılarının oransal ifadesidir. Akış stabilitesi en yüksek kakao, en düşük ise pirinç için tespit edilmiş ve 1.137 – 0.940 arasında değişkenlik göstermiştir. Ürünlerin akış stabilite değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı (p<0.05) bulunmuştur.



Şekil 3.3. Toz gıda örneklerinin PFSD testinde sıkıştırma katsayısı- döngü hızı grafiği



Şekil 3.4. Toz gıda örneklerinin akış stabilite değerleri

3.3. Toz Gıdaların Fiziko-kimyasal Özellikleri Arasındaki İlişkinin ve Benzerliğin Tespiti

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan toz ve granüler gıda örneklerinin akış özelliklerini belirlemek amacıyla tespit edilen parametreler, nem, su aktivitesi, yığın yoğunlukları, ortalama partikül boyutu, Carr indeksi ve Hausner oranı arasında bir ilişkinin olup olmadığı, eğer varsa bu ilişkinin yönü (pozitif veya negatif) araştırılmıştır. Ürün analizlerinden elde edilen veriler korelasyon testine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 3.6’da listelenmiştir. Buna göre nem ile su aktivitesi ve partikül boyutu arasında orta dereceli pozitif bir ilişki tespit edilmiş ve partikül boyutu ile aradaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) bulunmuştur. Ürünlere ait sıkıştırılmış yığın yoğunluğu ile dökme yığın yoğunluğu arasında pozitif çok yüksek bir korelasyon saptanmıştır. Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu aynı zamanda partikül boyutu ile ters yönlü orta dereceli bir ilişki oluşturmuştur. Carr indeksi ile Hausner oranı arasındaki çok kuvvetli istatistiksel anlamlı ($p<0.05$) ilişkinin yönü pozitif olarak tespit edilmiştir. Hem Carr indeksi hem de Hausner oranı değerleri ürünlerin ortalama partikül boyutu ile negatif orta dereceli bir ilişki meydana getirmiştir.

Tablo 3.6. Toz gıda örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki korelasyon

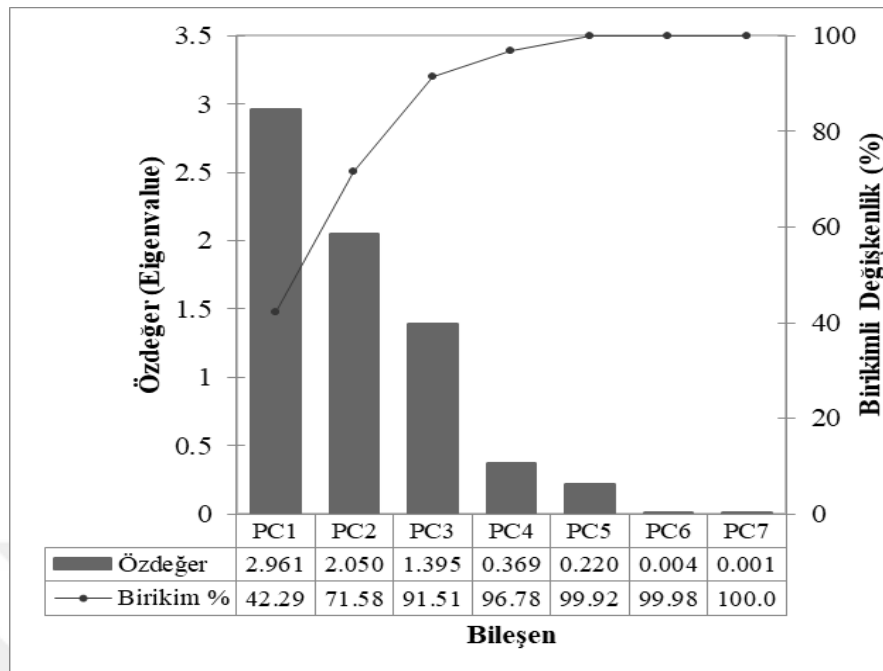
Parametre	Nem	a_w	DYY	SY Y	CI	HO
a_w	0.426					
DYY	-0.175	0.233				
SY Y	-0.331	0.306	0.913			
CI	-0.355	0.151	-0.221	0.182		
HO	-0.345	0.184	-0.219	0.184	0.997	
d_{50}	0.528	-0.176	-0.408	-0.572	-0.495	-0.489

a_w : Su aktivitesi, DYY: dökme yığın yoğunluğu, SY Y:Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, CI: Carr indeksi, HO: Hausner oranı, d_{50} : Ortalama partikül boyutu
Koyu karakterdeki sayılar 0.05 güvenilirlik seviyesinde önemlidir.

3.3.1. Temel Bileşen Analizi (PCA)

Tez çalışması kapsamında kullanılan toz gıda örneklerinin fiziko-kimyasal analizlerinden elde edilen birbirleriyle ilişkili veriler Temel Bileşen Analizi ile aradaki ilişki

engellenerek daha az sayıdaki veri setlerine dönüştürülmüştür. Bu sayede veriler arasındaki çoklu bağlantı durumu indirgenmiştir. PCA sonuçlarına göre özdeğer (eigenvalue) sayısının 1'den büyük olduğu (Şekil 3.5) üç temel bileşen (PC1, PC2 ve PC3) seçilen kriterlere ait verilerin %91.51 oranında açıklanmasını sağlamıştır. Özdeğeri 2.96 olan PC1 varyansın %42.3'ünü, özdeğeri 2.05 olan PC2 varyansın %29.3'ünü ve özdeğeri 1.39 olan PC3 varyansın %19.9'unu açıklamada tek başlarına etkili olmuşlardır. Bu bileşenlerin elde edilmesinde analize dahil edilen parametrelerin hangi temel bileşen için önem arz ettiğini gösteren faktör yükleri Tablo 3.7'de listelenmiştir. Bu kriterlerden sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, Carr indeksi, Hausner oranı ve ortalama partikül boyutu ilk bileşenin (PC1) oluşturulmasında etkili olmuştur. Dökme yığın yoğunluğu verileri PC2 için; nem ve su aktivitesi değerleri de PC3 bileşeni için temel oluşturmuştur. PCA sonuçlarından kriterler arasındaki ilişkiyi temel bileşenlere göre ifade eden grafikler Şekil 3.6(a, b)'da verilmiştir. PCA yönteminin iki önemli parametresi olan bileşen yükleri grafiklerden 3.6.a'da, bileşen skorları ise 3.6.b'de gösterilmiştir. İlk grafikte kriterlerin PC1-PC2 arasındaki ilişkisinde ilk bileşen olan PC1 için önem arz eden kriterlerin x-ekseni boyunca uzun bir vektör oluşturduğu görülmüştür. Nem ve a_w değerlerinin oluşturduğu vektörlerin ilk grafikte oluşturduğu kısalık bu iki kriterin PC3 için önemli olan parametreler olmasından kaynaklanmıştır. Dolayısıyla bu kriterler PC1-PC3 ve PC2-PC3 grafiklerinde PC3 eksenini boyunca uzun vektörler oluşturmuştur. Grafiklerde vektörler arasında oluşan açı kriterler arasındaki ilişkiyi göstermiştir. Carr indeksi ve Hausner oranı arasındaki kuvvetli pozitif ilişki bu iki kriter arasındaki açının darlığıyla gösterilmiştir. Kriterler arasındaki 180 dereceye varan açı ilişkinin negatifliği ile ortaya çıkmıştır. Diğer grafikte (Şekil 3.6.b) bileşen skorları yer almıştır. Buna göre Carr indeksi, Hausner oranı, ortalama partikül boyutu ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu değerlerindeki benzerlik sebebiyle tamamı granüler maddelerden oluşan grup grafiğinin sağ üst bölümünde yer almıştır. Benzer özellikler nedeniyle karagenan, kakao ve nişasta örnekleri grafiğinin sol alt kısmına yerleşmiştir. Diğer taraftan nem ve a_w kriterlerinin etkin olduğu PC3 için sitrik asit, şeker ve tuz örnekleri birbirine yakın konumlanmıştır.

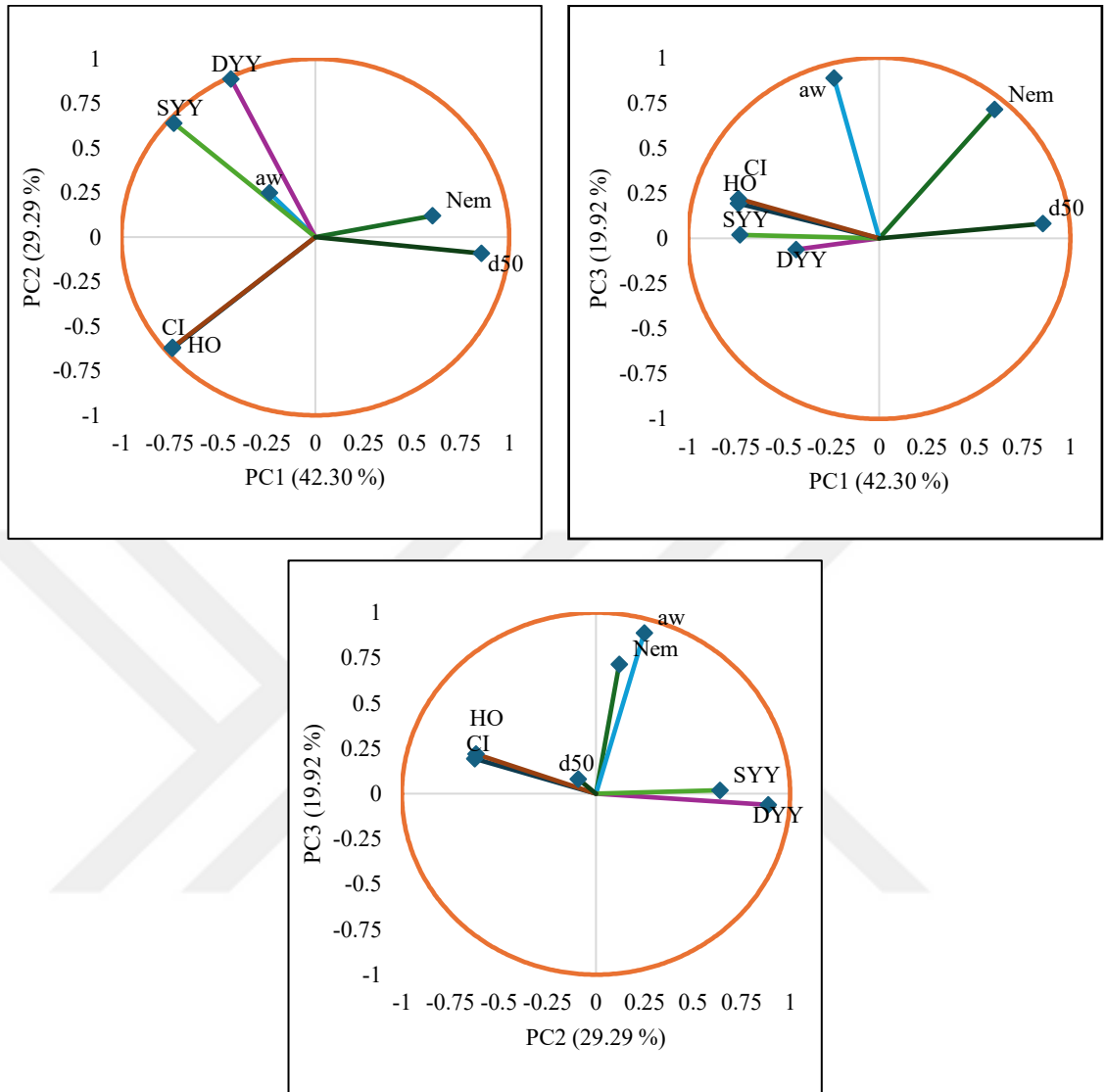


Şekil 3.5. PCA özdeğerler grafiği

Tablo 3.7. PCA bileşen matrisi

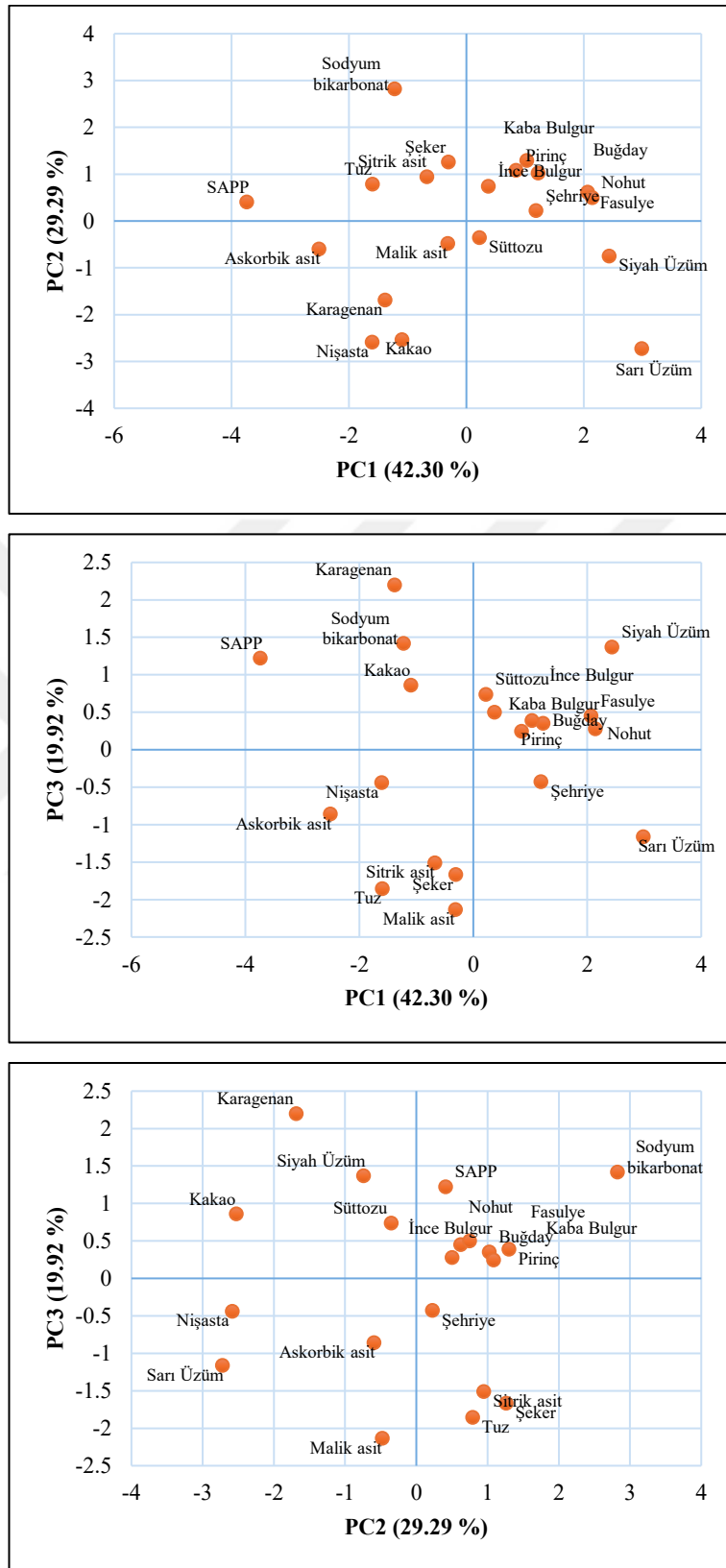
Parametre	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Nem	0.604	0.120	0.714	0.046	-0.330
a _w	-0.237	0.248	0.888	-0.149	0.267
DYY	-0.435	0.886	-0.062	0.130	-0.060
SY Y	-0.729	0.639	0.019	0.243	-0.023
CI	-0.737	-0.624	0.193	0.158	-0.060
HO	-0.737	-0.619	0.219	0.156	-0.032
d ₅₀	0.857	-0.092	0.081	0.469	0.177

a_w : Su aktivitesi, DYY: dökme yığın yoğunluğu, SY Y:Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, CI: Carr indeksi, HO: Hausner oranı, d₅₀:Ortalama partikül boyutu



Şekil 3.6.a) PCA temel bileşen yükleri grafiği

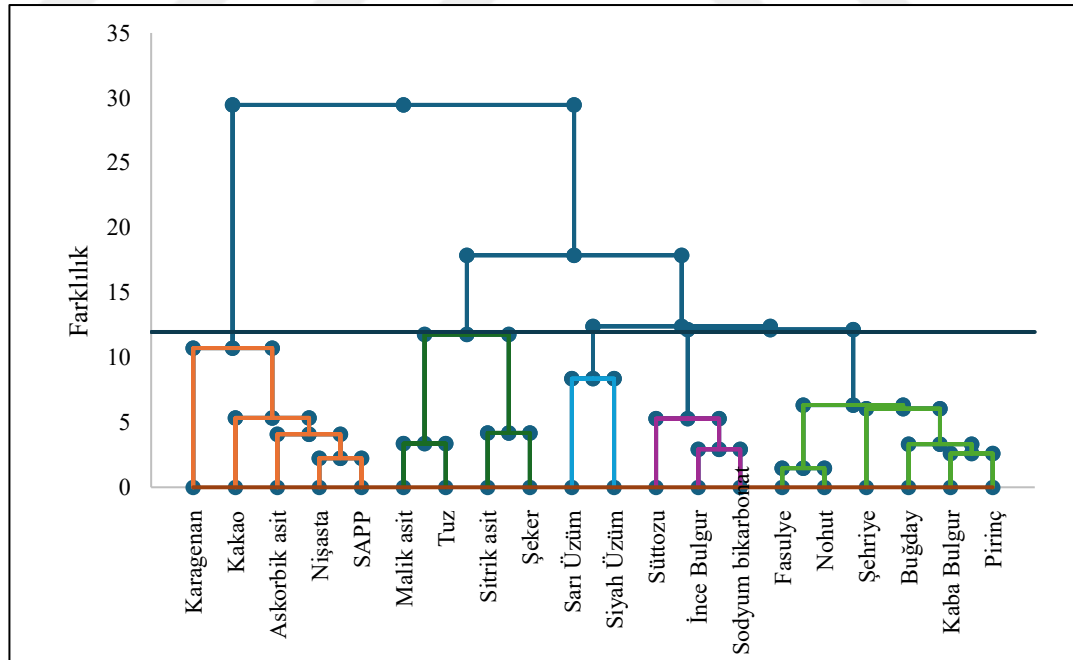
a_w : Su aktivitesi, DYY : dökme yığın yoğunluğu, SYY :Sıkıştırılmış yığın yoğunluğu, CI : Carr indeksi, HO : Hausner oranı, d_{50} :Ortalama partikül boyutu



Şekil 3.6.b) PCA temel bileşen skorları grafiği

3.3.2. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA)

Çalışma kapsamında toz gıda örnekleri arasındaki benzerlikleri ortaya koymak amacıyla hiyerarşik kümeleme analizinden (HCA) faydalanılmıştır. HCA analizinde örnekler arasındaki farklılık tam bağlantı metodu ve Öklid uzaklığı ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçları gösteren dendrogram grafiği Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre toz gıda örnekleri beş grup altında kümelenmiştir. Birinci gruptaki örnekler askorbik asit, nişasta, kakao, karagenan ve SAPP aralarındaki Carr indeksi ve Hausner oranı benzerlikleri dikkate alınarak gruplanmıştır. İkinci grupta yer alan malik asit, tuz, sitrik asit ve şeker örnekleri için yığın yoğunlukları arasındaki benzerlik gruplamayı belirlemiştir. Üçüncü grupta yer alan sarı ve siyah üzüm örnekleri için Carr indeksi, Hausner oranı ve partikül boyutu verileri gruplamayı oluşturan esas kriterler olmuştur. Dördüncü gruptaki örnekler içinde yer alan süttozu, ince bulgur ve sodyum bikarbonata ait su aktivitesi değerleri benzerlik göstermiştir. Son gruptaki örneklerin (buğday, kaba bulgur, nohut, fasulye ve şehriye) benzerlikleri ise nem, su aktivitesi ve yığın yoğunluklarından kaynaklanmıştır.



Şekil 3.7. Hiyerarşik kümeleme analizinde elde edilen dendrogram grafiği

3.4. Model Toz Gıda Ürün Analizleri

3.4.1. Model Bulgur Karışımı Analizi

Farklı tanecik boyutuna sahip bulgurlar (ortalama tanecik boyutu: d_{50i} :0.1 cm, d_{50K} : 0.3 cm) ağırlıkça % 50:50 olacak şekilde V3L kodlu mikser içerisinde karıştırılmıştır. Miksere farklı doluluk oranlarında konacak olan bulgur miktarlarını tespit etmek amacıyla dökme yığın yoğunluklarından yararlanılmıştır. Belirlenen yoğunluklar ve mikser içerisine konan bulgurların bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Bulgur örneklerine ait fiziksel özellikler

Parametre	Kaba Bulgur	İnce Bulgur
Ortalama tanecik boyutu, d_{50} (mm)	3.000	1.000
Hacim, V (cm ³) ($4/3 \cdot \pi \cdot (D/2)^3$)	1.4143e-2	5.2381e-4
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm ³)	0.806	0.770
Partikül yoğunluğu (g/ cm ³)	1.450	1.449

Cevap Yüzey metodolojisi kullanılarak oluşturulan deney noktalarında yapılan bulgur karışımlarından alınan örnekler incelenmiş ve 4 numaralı denklem kullanılarak Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 3.9’da listelenmiştir. Elde edilen bulgular içinde M_L değeri en düşük 40 dakika, 21.5 tur/dk, %80 doluluk oranı ve alt-üst (AU) ürün yerleştirme yönünde 0.951209 değeri ile kaydedilmiştir. En yüksek M_L değeri ise 21 dakika, 5t ur/dk hız, %40 doluluk oranı ve AU yerleştirme yönünde 0.997842 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.9. Model Bulgur karışımlarına ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri

Sıra No	Karışım Süresi (dk)	Mikser Dönüş Hızı (tur/dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)	Mikser içine ürün yerleştirme yönü	Lacey Karıştırma İndeksi
1	2	21.5	80	AU	0.974015
2	2	21.5	80	YY	0.968690
3	2	5	60	YY	0.957760
4	2	38	60	YY	0.993302
5	2	21.5	40	AU	0.994078
6	2	38	60	AU	0.996736
7	2	21.5	40	YY	0.977216
8	2	5	60	AU	0.995392
9	21	21.5	60	AU	0.973779
10	21	38	80	AU	0.978573
11	21	21.5	60	AU	0.974910
12	21	38	40	AU	0.992327
13	21	21.5	60	YY	0.978766
14	21	21.5	60	AU	0.979753
15	21	5	80	AU	0.991752
16	21	21.5	60	YY	0.979459
17	21	21.5	60	YY	0.974432
18	21	38	40	YY	0.992491
19	21	5	80	YY	0.987118
20	21	38	80	YY	0.969254
21	21	5	40	YY	0.997549
22	21	5	40	AU	0.997842
23	40	38	60	YY	0.993965
24	40	21.5	40	YY	0.989031
25	40	21.5	80	AU	0.951299
26	40	38	60	AU	0.995969
27	40	5	60	AU	0.994419
28	40	21.5	40	AU	0.991020
29	40	21.5	80	YY	0.955608
30	40	5	60	YY	0.992534

AU: Tozun mikser içerisine Alt-üst pozisyonda yerleştirilmesi, YY: Tozun mikser içerisine Yan-yana pozisyonda yerleştirilmesi

Karışım süresinin optimizasyonunda karışıma etki eden parametreler ile cevap arasındaki ilişki çoklu regresyon modelleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu amaçla modeller öncelikle doğrusal etki parametreleriyle sonrasında da kuadratik parametrelerle modelin uyum eksikliği ve regresyon katsayıları dikkate alınarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre cevap olarak tanımlanan M_L karıştırma indeksi değeri kuadratik parametrelerle oluşturulan model ile sağlıklı bir biçimde açıklanabilmektedir. Karışıma etki eden faktörlerin Cevap Yüzey metodu ile yapılan analizinde (Tablo 3.10) karışım süresi, mikserin dönüş hızı ve mikserin doluluk oranı karıştırma indeksi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0.05$) değişiklikler meydana getirmiştir. Ancak tozların mikser içerisine hangi yönde yerleştirildiğinin indeks değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Tablodaki verilerden modele ait p-değerinin 0.05'ten küçük olması ve uyum eksikliği değerinin önemsiz bulunması bu regresyon modeli ile model bulgur karışımının karışım süresi, mikser dönüş hızı, mikser doluluk miktarı ve ürün yerleştirme yönü parametreleri ile etkin bir biçimde belirlenebileceğini göstermiştir. Oluşturulan modelin deneysel verileri hangi ölçüde karşıladığına regresyon katsayısı R^2 , düzeltilmiş regresyon katsayısı R^2_{adj} , PRESS (tahmin edilen artık hata karelerinin toplamı) değeri, düzeltilmiş ve tahmini regresyon katsayısı farkı değerleri göz önüne alınarak karar verilmiştir. Modelin yüksek determinasyon katsayısı, R^2 (0.9681) ve PRESS değerinin oldukça küçük ($5.106E-004$) tespit edilmesi $Adj-R^2$ - $Pre-R^2$ değerleri arasındaki farkın (0.0613), 0.2'den düşük olması temel alınmıştır.

Model bulgur karışımında karışım süresi (A), mikser dönüş hızı (B), mikserin doluluk miktarı (C) ve mikser içine ürün yerleştirme yönü (D) parametrelerinin karıştırma indeksini ifade eden polinomial eşitliği aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} \text{Karıştırma indeksi} = & +0.98 + 1.785E-003 * A - 2.756E-003 * B - 6.694E-003 * C - 1.130E-004 * \\ & D + 1.869E-003 * A * B - 9.629E-003 * A * C - 9.035E-004 * A * D - 2.574E-003 * B * C + 5.306E- \\ & 004 * B * D - 1.834E-003 * C * D - 1.021E-003 * A^2 + 0.017 * B^2 - 4.220E-003 * C^2 \end{aligned}$$

Model bulgur örneğinde, karıştırma indekslerinin faktörlere bağlı olarak değişimini gösteren üç boyutlu grafikleri Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu grafiklerde mikserin düşük doluluk oranlarında artan hızın ve karışım süresinin karıştırma indeksinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak mikserin yüksek doluluk seviyelerinde artan hız ve karışım süresi karıştırma indeksini ters yönde etkilemiş ve azalmasına neden olmuştur.

Karıştırma indeksinin %40 doluluk oranında en yüksek değeri ($M_L=0.997842$) mikserin içine konan malzemelerin hangi yönde bulunduğundan bağımsız olarak 21 dakikalık karışım süresi ile 5 tur/dk hızında elde edilmiştir. Doluluk oranının artarak %80 olduğu durumda da en yüksek karıştırma indeksinin ($M_L=0.991752$) 21 dakika ve 5 tur/dk hızında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

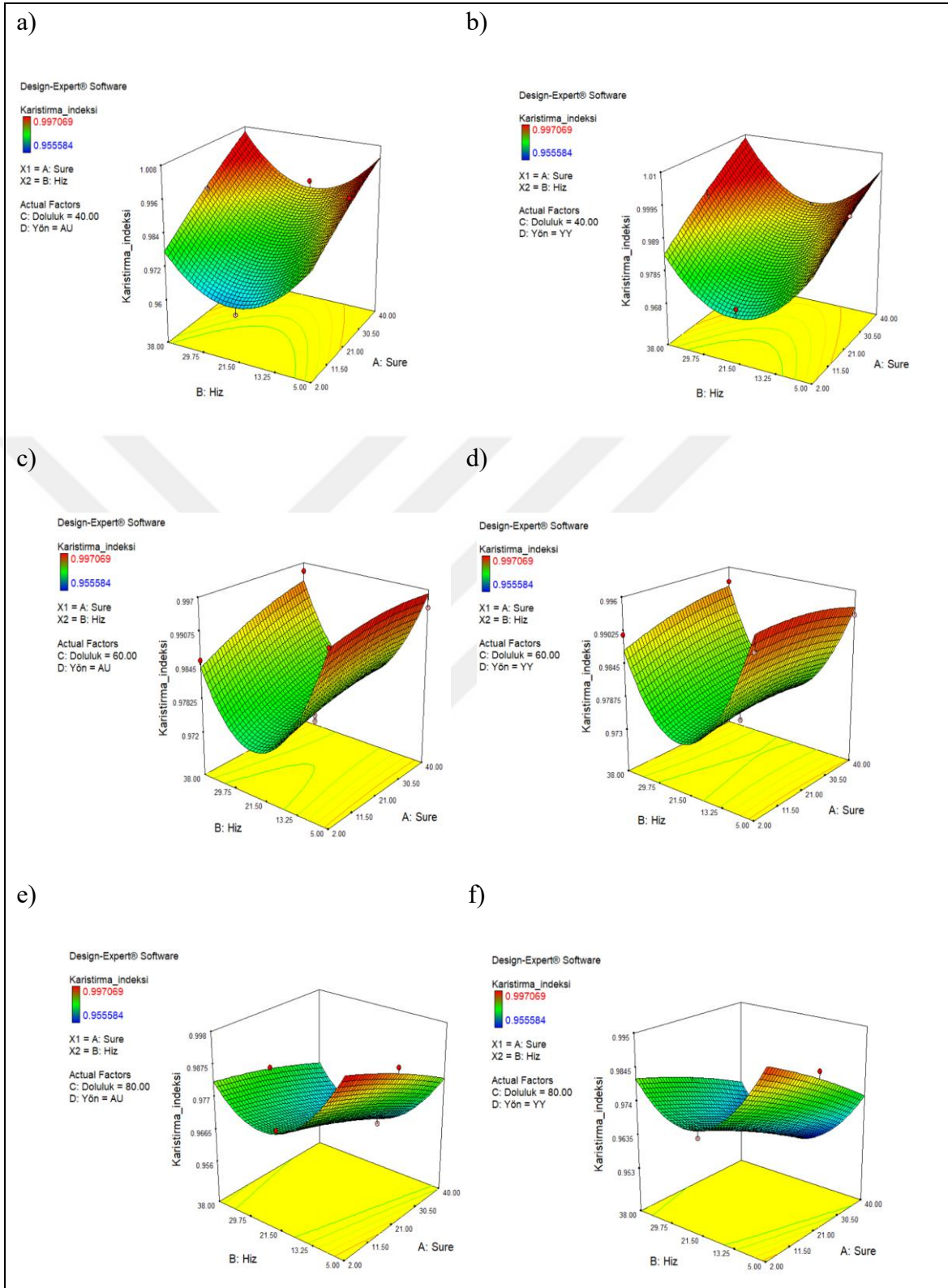
Model bulgur karışımının optimizasyonu amacıyla *Design Expert* programının optimizasyon bölümü kullanılmıştır. Karışım etki eden parametrelerden karışım süresini minimize, mikserin doluluk oranını maksimize etmeyi, mikserin dönüş hızı ve ürün yerleştirme yönü parametrelerini belirlenen değerlerde (in range) ve cevap değişkeni olan karıştırma indeksini maksimize etmeyi amaçlayan optimizasyon basamağında 29 adet optimum nokta belirlenmiştir. Bu noktalar içinde istenebilirliği (desirability) en yüksek olan nokta 2 dakikalık karışım süresi, 5.11 tur/dk hız, %80 doluluk oranı ve alt-üst (AU) ürün yerleştirme yönü ile optimum nokta seçilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında Denklem 17 kullanılarak model bulgur karışımının homojen olarak en ideal gerçekleşeceği sürenin 4.18 dakika olacağı hesaplanmıştır.

Tablo 3.10. Model Bulgur karışımının optimizasyonuna ait kuadratik model varyans analizi

Kaynak	KT	SD	KTO	F-değeri	p-değeri	
Model	0.004149	13	0.000319	37.30939	< 0.0001	Önemli
A-Karışım Süresi	5.10E-05	1	5.10E-05	5.958101	0.0267	
B-Mikser Dönüş Hızı	0.000121	1	0.000121	14.20146	0.0017	
C-Mikser Doluluk Oranı	0.000717	1	0.000717	83.80024	< 0.0001	
D-Mikser içine ürün yerleştirme yönü	3.83E-07	1	3.83E-07	0.044801	0.835	
AB	2.80E-05	1	2.80E-05	3.267767	0.0895	
AC	0.000742	1	0.000742	86.70956	< 0.0001	
AD	1.31E-05	1	1.31E-05	1.526731	0.2344	
BC	5.30E-05	1	5.30E-05	6.197774	0.0242	
BD	4.50E-06	1	4.50E-06	0.526496	0.4786	
CD	5.38E-05	1	5.38E-05	6.28793	0.0233	
A ²	7.70E-06	1	7.70E-06	0.900459	0.3568	
B ²	0.002111	1	0.002111	246.7595	< 0.0001	
C ²	0.000132	1	0.000132	15.37552	0.0012	
Kalıntı	0.000137	16	8.55E-06			
Uyum eksikliği	0.000102	12	8.49E-06	0.972419	0.5681	Önemsiz
Saf hata	3.49E-05	4	8.74E-06			
Toplam	0.004286	29				

KT: kareler toplamı, SD: Serbestlik derecesi, KTO: Kareler toplamının ortalaması



Şekil 3.8. Model Bulgur karışımında karıştırma indeksi değerlerinin farklı mikser doluluk oranı ve mikser içine ürün yerleştirme yönünde 3 boyutlu gösterimi

a) % 40 & AU b) % 40 & YY c) % 60 & AU d) % 60 & YY e) % 80 & AU f) % 80 & YY

3.4.2. Model Toz Sütlaç Ürün Karışımı Analizi

Toz sütlaç model ürünü hazırlamak amacıyla pirinç, şeker ve nişasta kullanılmıştır. Bileşenlerin farklı doluluk oranlarında kaplayacakları hacim yığın yoğunlukları esas alınarak hesaplanmıştır. Model ürün bileşenlerinin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.11’de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Model Toz Sütlaç ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Parametre	Pirinç	Şeker	Nişasta
Ortalama partikül boyutu, d₅₀ (mm)	3.578	0.594	0.039
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm³)	0.792	0.898	0.488
Partikül yoğunluğu (g/ cm³)	1.465	1.589	1.496

Model toz sütlaç karışımında bileşen miktarlarının etkisini incelemek amacıyla üç farklı reçete oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Her bir reçeteye ait ortalama bileşen miktarları Tablo 3.12’de listelenmiştir. Karışımın homojenliğe ulaşma derecesi ortalama değerler ve Şekil 3.9’da gösterilen % CV (Standart sapma/ortalama) değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Karışımın CV değerinin %10’un altında olması homojen bir karışım elde edildiğini göstermektedir. Bu nedenle bileşenlerin ortalama ve CV değerleri birlikte incelendiğinde her üç reçete için 10 dakikalık karışım süresinin homojenliğe ulaşmada yeterli olduğu anlaşılmıştır.

Farklı reçetelerle üretilen model toz sütlaç ürününün bileşenlerine ait ortalama değerlerin beklenen değerlere göre sapmalarını gösteren grafikler Şekil 3.10’da verilmiştir. Grafiklerde pirinç, şeker ve nişasta bileşenleri ayrı ayrı her üç model için beklenen değerlere göre durumları ile gösterilmiştir. Her üç reçetede en fazla sapma nişasta bileşeninde tespit edilmiştir.

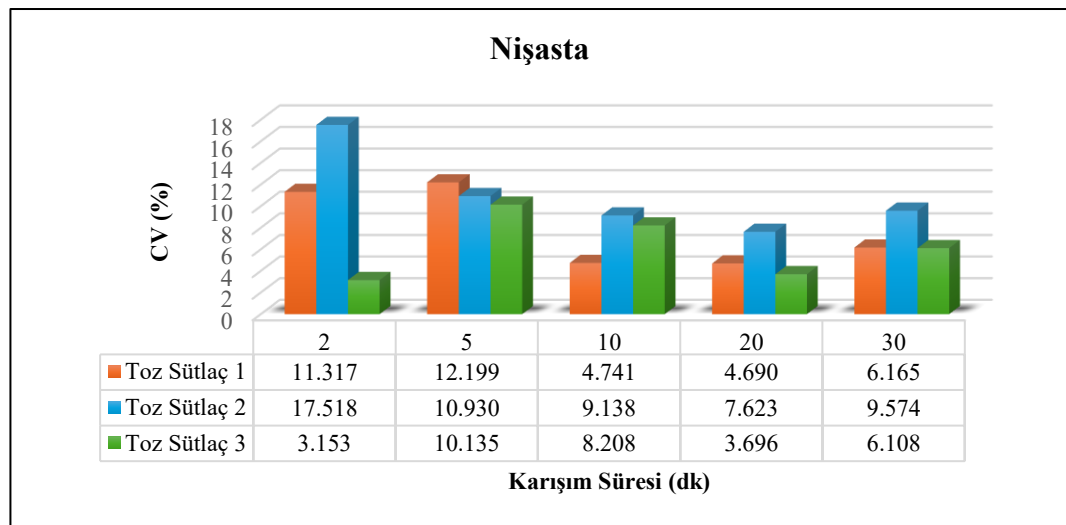
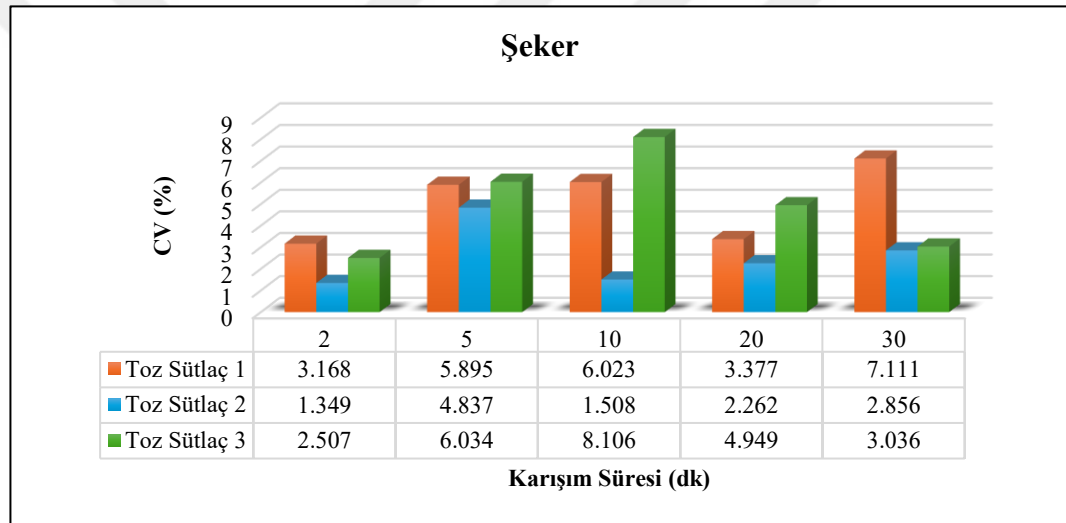
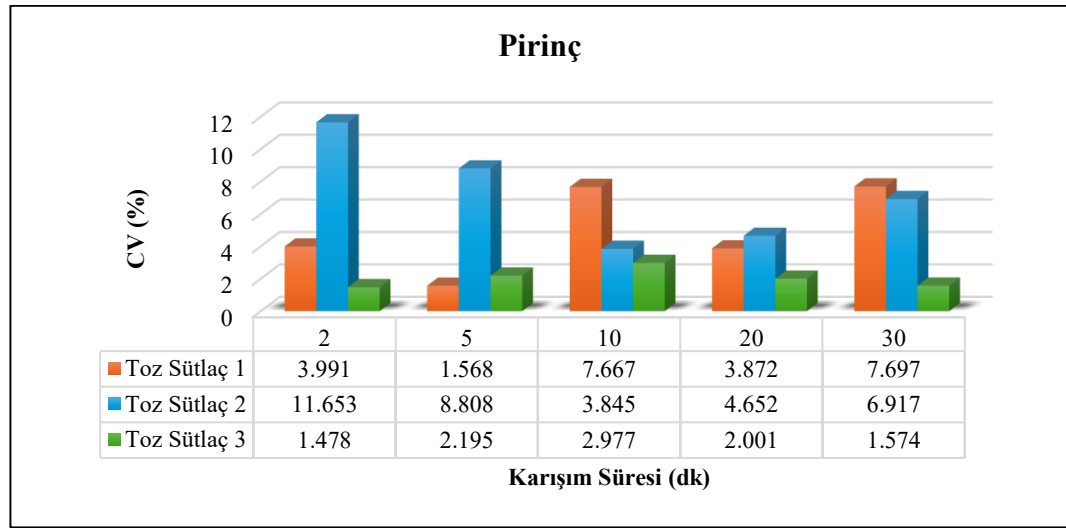
Tablo 3.12. Model Toz Sütlaç ürünlerine ait bileşenlerin ortalama miktar (%) değerleri

Toz Sütlaç 1	Ortalama Miktar (%)		
Karışım Süresi (dk)	Pirinç	Şeker	Nişasta
2	30.832 ± 1.230 ^a	45.549 ± 1.443 ^a	23.619 ± 2.673 ^a
5	29.463 ± 0.462 ^a	45.514 ± 2.683 ^a	25.023 ± 3.053 ^a
10	27.856 ± 2.136 ^a	51.596 ± 3.107 ^a	20.548 ± 0.974 ^a
20	28.920 ± 1.120 ^a	48.430 ± 1.636 ^a	22.650 ± 1.062 ^a
30	28.609 ± 2.202 ^a	49.456 ± 3.157 ^a	21.935 ± 1.352 ^a

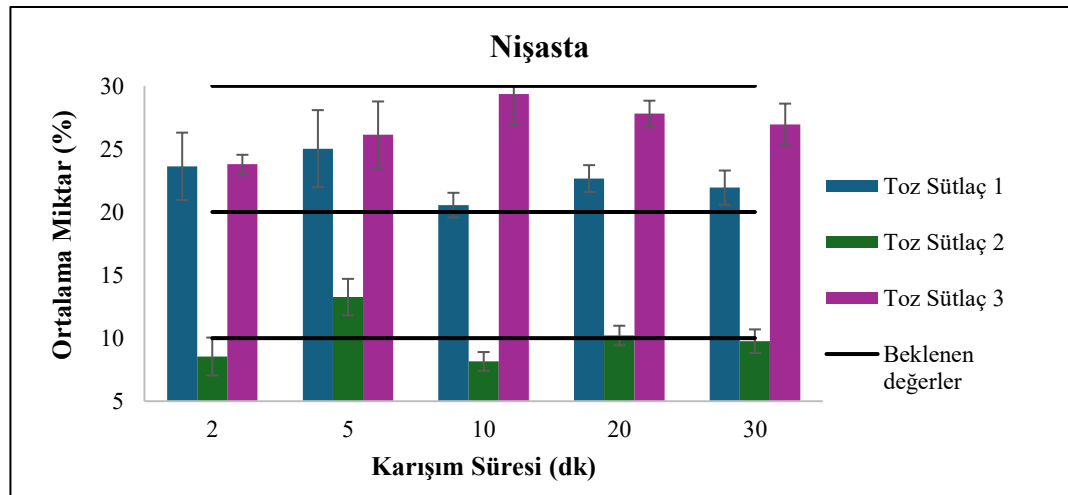
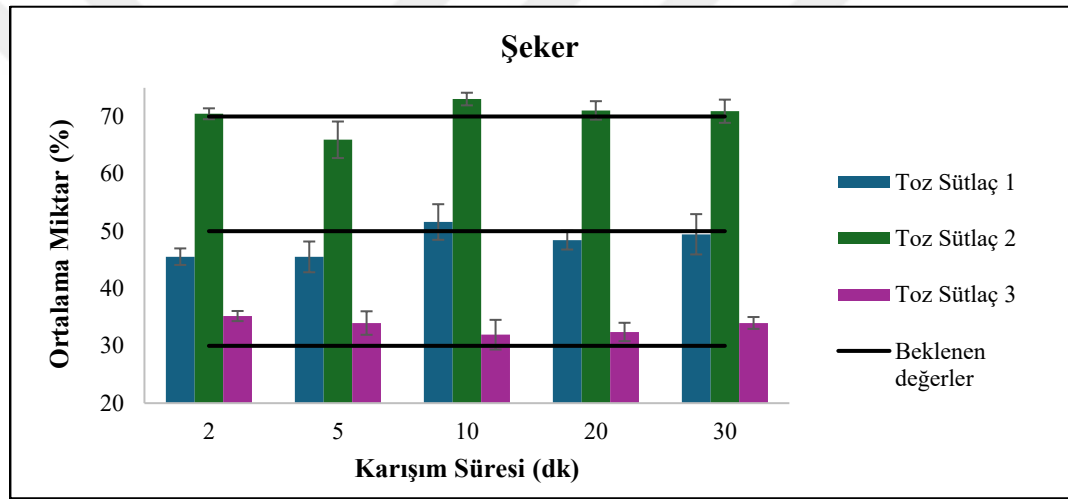
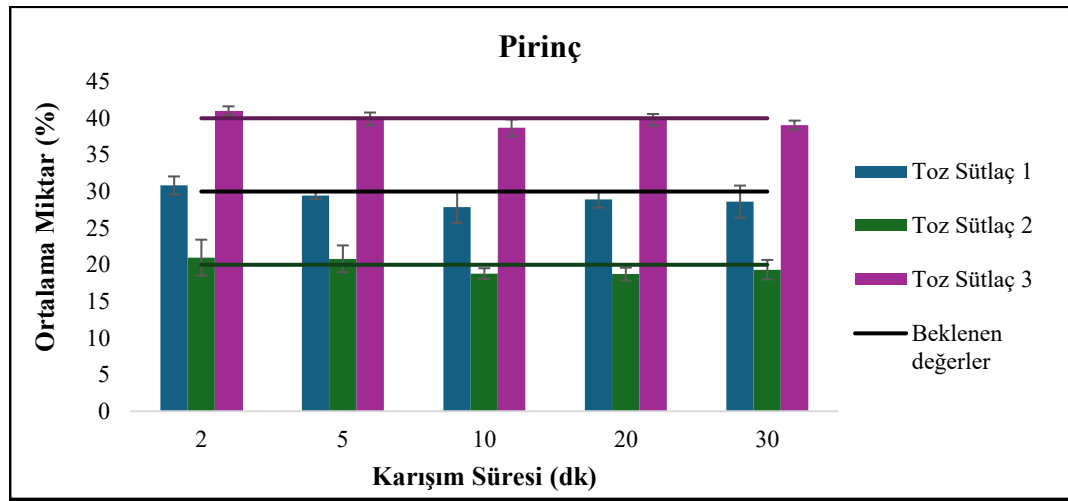
Toz Sütlaç 2	Ortalama Miktar (%)		
Karışım Süresi (dk)	Pirinç	Şeker	Nişasta
2	20.980 ± 2.445 ^a	70.476 ± 0.951 ^{ab}	8.544 ± 1.497 ^a
5	20.810 ± 1.833 ^a	69.939 ± 3.189 ^a	13.251 ± 1.448 ^b
10	18.802 ± 0.723 ^a	73.045 ± 1.102 ^b	8.153 ± 0.745 ^a
20	18.730 ± 1.607 ^a	71.065 ± 1.607 ^{ab}	10.205 ± 0.778 ^a
30	19.325 ± 1.337 ^a	70.918 ± 2.025 ^{ab}	9.758 ± 0.934 ^a

Toz Sütlaç 3	Ortalama Miktar (%)		
Karışım Süresi (dk)	Pirinç	Şeker	Nişasta
2	41.021 ± 0.606 ^b	35.193 ± 0.882 ^a	23.786 ± 0.756 ^a
5	39.906 ± 0.876 ^{ab}	33.976 ± 2.050 ^a	26.118 ± 2.647 ^{ab}
10	38.695 ± 1.152 ^a	31.942 ± 2.589 ^a	29.363 ± 2.410 ^b
20	39.786 ± 0.796 ^{ab}	32.416 ± 1.604 ^a	27.798 ± 1.028 ^{ab}
30	39.063 ± 0.615	33.991 ± 1.032 ^a	26.946 ± 1.646 ^{ab}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).



Şekil 3.9. Model Toz Sütlaç ürünlerinde bileşenlerin CV (%) değerlerinin değişimi



Şekil 3.10. Model Toz Sütlaç ürünlerinde bileşenlerin ortalama miktarlarının olması beklenen değerlere göre durumu

Model toz sütlaç ürününde ikinci aşama olarak tek bir reçete (Toz Sütlaç 1) seçilerek, karışım süresi ve mikserin doluluk oranının karışımın homojenitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, beş farklı doluluk oranı (%: 50, 60, 70, 80 ve 90) ile sekiz farklı karışım süresi (dakika: 0.5; 1; 1.5; 2; 5; 10; 20 ve 30) tam faktöriyel deneme deseni oluşturularak analiz edilmiştir. Mikserin dönüş hızı 12 tur/dk olarak ayarlanmıştır. Mikserin beş farklı bölgesinden alınan örnekler incelenerek bileşenlerin miktarları (ortalama değer) ve % CV değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3.13–3.15’te gösterilmiştir. Bileşenlerin ortalama değerleri üzerine yapılan incelemelerde karışım süresi, mikserin doluluk oranı ve süre*doluluk etkileşimi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) farklara sebep olmuştur. Model toz sütlaç bileşenlerinden pirinç miktarı mikserin doluluk oranından etkilenirken, süre ve süre*doluluk parametrelerinden anlamlı derecede etkilenmemiştir ($p>0.05$). Ancak şeker ve nişasta miktarında değişen karışım süresi, doluluk oranı ve bu iki parametrenin etkileşimi sebebiyle istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) farklar ortaya çıkmıştır. Bileşenlerin ortalama değerlerinde meydana gelen en fazla %10’luk sapma karışımın homojen olarak kabul edilebilme sınırı olduğundan bu değerin üzerindeki sapmalar homojen yapının bozulduğu anlamı taşımaktadır. Dolayısı ile pirinç miktarında beklenen değer $30\pm\%10$, şeker için $50\pm\%10$ ve nişasta için $20\pm\%10$ değeridir. Bu şartlar altında pirincin homojen olarak karıştığını gösteren ortalama değerler 27–33 g/100 g örnek, şeker için 45–55 g/100 g örnek ve nişasta için 18–22 g/100 g örnek arasında değişmektedir. Beklenen ortalama miktarlar ve CV değerleri birlikte incelendiğinde %50, 70 ve 90 doluluk oranında 2 dakika, diğer doluluk oranlarında ise 1.5 dakikanın homojen karışımı sağlamak için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Tüm doluluk oranlarında 2 dakikanın üzerindeki süreler karışımdaki bileşenlerin ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark meydana getirmemiştir ($p>0.05$). Ancak 2 dakikanın altındaki karışım süreleri bileşenlerin ortalama değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) değişimlere neden olmuştur. Bu nedenle toz sütlaç ürününde 2 dakikalık karışım süresinin homojen bir yapı kazanmak için yeterli olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.13. Model Toz Sütlaç ürün karışımında pirinç bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	33.890 ± 6.203^{Aa}	31.353 ± 7.132 ^{Aa}	29.277 ± 3.952 ^{Aa}	26.976 ± 4.550 ^{Aa}	29.643 ± 7.476 ^{Aa}
1	31.233 ± 2.039 ^{Aab}	29.441 ± 1.054 ^{Aa}	28.708 ± 4.177 ^{Aa}	29.691 ± 2.316 ^{Aab}	32.572 ± 5.161 ^{Aa}
1.5	30.881 ± 1.348 ^{Aab}	31.949 ± 1.210 ^{Aa}	30.290 ± 3.297 ^{Aa}	30.090 ± 1.488 ^{Aab}	29.886 ± 2.920 ^{Aa}
2	30.740 ± 1.430 ^{Aab}	30.936 ± 1.445 ^{Aa}	29.917 ± 1.527 ^{Aa}	30.306 ± 1.769 ^{Ab}	30.180 ± 1.901 ^{Aa}
5	30.576 ± 1.520 ^{Aab}	31.012 ± 1.806 ^{Aa}	29.806 ± 1.444 ^{Aa}	30.140 ± 1.630 ^{Aab}	30.946 ± 0.908 ^{Aa}
10	30.741 ± 1.642 ^{Aab}	30.997 ± 1.059 ^{Aa}	30.457 ± 1.102 ^{ABa}	29.496 ± 1.352 ^{Aab}	29.808 ± 2.133 ^{Aa}
20	29.243 ± 2.220 ^{Ab}	30.516 ± 1.619 ^{Aa}	30.377 ± 1.208 ^{Aa}	29.488 ± 2.089 ^{Aab}	29.885 ± 1.880 ^{Aa}
30	29.726 ± 2.079 ^{Ab}	30.749 ± 0.990 ^{Aa}	30.029 ± 1.058 ^{Aa}	29.721 ± 1.439 ^{Aab}	29.495 ± 2.640 ^{Aa}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.

Tablo 3.14. Model Toz Sütlaç ürün karışımında şeker bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	48.201 ± 3.883 ^{Aa}	51.235 ± 5.633 ^{Aa}	56.301 ± 3.753^{Aa}	57.861 ± 3.874^{Aa}	55.830 ± 9.897^{Aa}
1	47.738 ± 6.978 ^{Aa}	51.365 ± 2.464 ^{Aa}	54.244 ± 3.894 ^{Aa}	52.764 ± 3.514 ^{Ab}	52.659 ± 7.190 ^{Aa}
1.5	49.299 ± 2.118 ^{Aa}	49.935 ± 1.695 ^{Aa}	55.398 ± 3.306^{Ba}	50.415 ± 1.494 ^{ACb}	53.452 ± 4.209 ^{BCa}
2	50.073 ± 1.760 ^{ABa}	52.061 ± 1.299 ^{BCa}	48.784 ± 2.126 ^{Ab}	52.890 ± 1.187 ^{Cb}	51.001 ± 1.765 ^{BCa}
5	50.360 ± 1.604 ^{Aa}	51.911 ± 1.031 ^{ABa}	47.852 ± 1.596 ^{Cb}	52.594 ± 1.015 ^{Bb}	50.321 ± 1.470 ^{Aa}
10	49.351 ± 2.223 ^{ABa}	50.985 ± 0.963 ^{ABCa}	48.736 ± 3.013 ^{Ab}	53.033 ± 1.009 ^{Cb}	51.722 ± 1.602 ^{BCa}
20	48.806 ± 3.808 ^{Aa}	49.979 ± 1.511 ^{ABa}	47.337 ± 2.574 ^{Ab}	52.989 ± 1.291 ^{Bb}	52.675 ± 2.001 ^{Ba}
30	47.386 ± 3.514 ^{Aa}	51.078 ± 1.637 ^{ABCa}	48.954 ± 1.821 ^{ABb}	51.708 ± 1.359 ^{BCb}	54.477 ± 5.509 ^{Ca}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-C}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.

Tablo 3.15. Model Toz Sütlaç ürün karışımında nişasta bileşenine ait ortalama miktar (%) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	17.909 ± 4.070 ^{Aa}	17.411 ± 6.752 ^{Aa}	14.422 ± 3.177^{Aa}	15.162 ± 6.118^{Aa}	14.527 ± 5.752^{Aa}
1	21.029 ± 5.431 ^{Aab}	19.194 ± 2.125 ^{Aa}	17.048 ± 2.178 ^{Aba}	17.545 ± 2.142 ^{Abab}	14.769 ± 3.372^{Ba}
1.5	19.820 ± 2.591 ^{Aab}	18.115 ± 1.552 ^{Aba}	14.313 ± 2.455^{Ca}	19.495 ± 1.029 ^{Ab}	16.662 ± 2.233^{Bcab}
2	19.187 ± 1.410 ^{Aab}	17.003 ± 0.977 ^{Bca}	21.299 ± 1.836 ^{Db}	16.805 ± 1.124^{Cab}	18.819 ± 1.859 ^{Abab}
5	19.063 ± 1.232 ^{Aab}	17.078 ± 1.771 ^{Aa}	22.342 ± 2.181^{Bb}	17.267 ± 1.302 ^{Aab}	18.733 ± 1.592 ^{Aab}
10	19.908 ± 1.849 ^{Abab}	18.018 ± 1.434 ^{Aca}	20.807 ± 2.532 ^{Bb}	17.471 ± 1.173 ^{Cab}	19.470 ± 0.904 ^{ABCb}
20	21.951 ± 2.126 ^{Aab}	19.505 ± 1.734 ^{Ba}	22.286 ± 2.191^{Ab}	17.522 ± 1.454 ^{Bab}	17.440 ± 1.258 ^{Bab}
30	22.888 ± 2.509^{Ab}	18.173 ± 1.957 ^{BCa}	21.017 ± 1.577 ^{ABb}	18.571 ± 1.436 ^{BCab}	16.028 ± 4.898^{Cab}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-D}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.

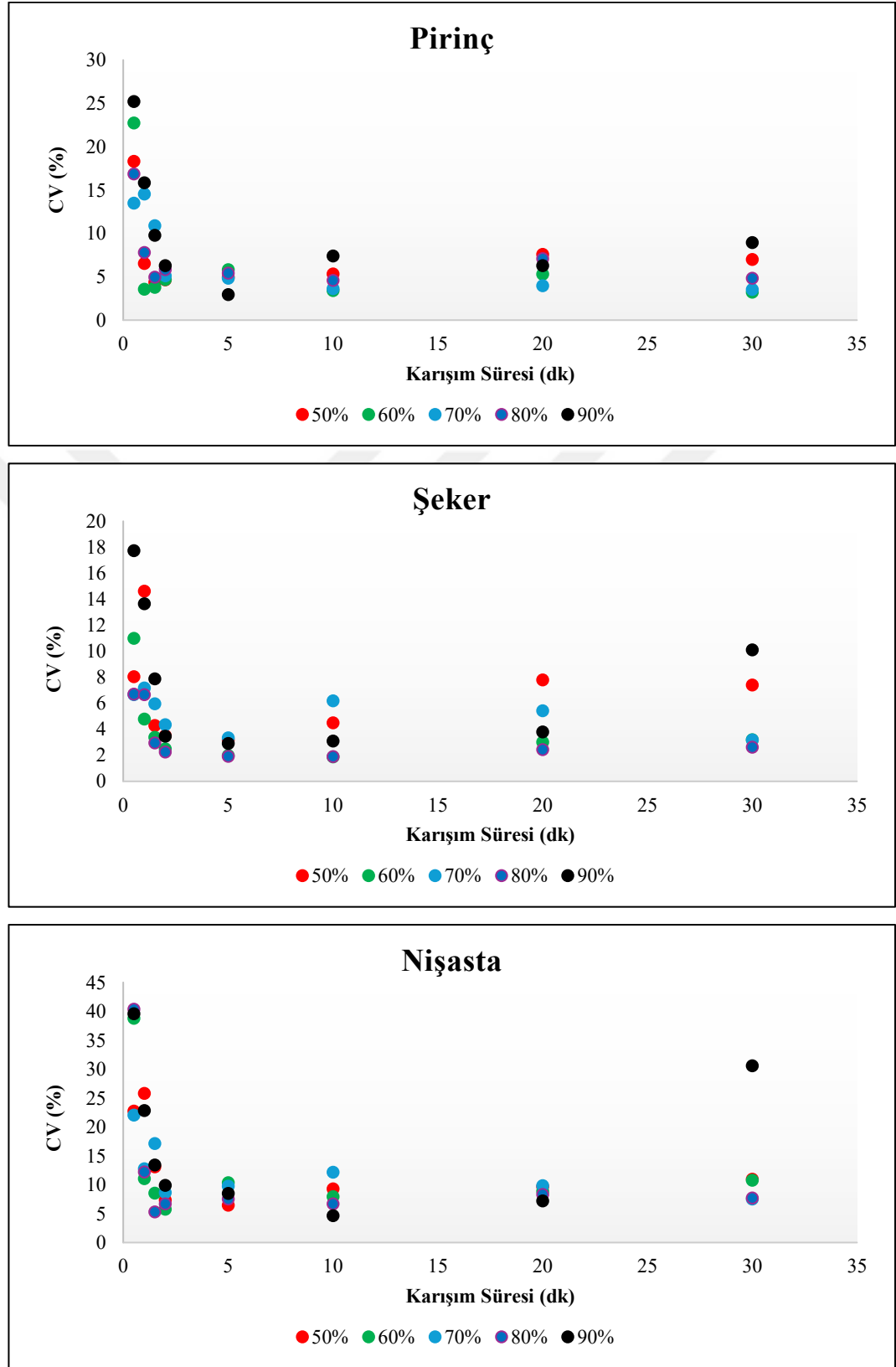
Toz sütlaç model ürününde bileşenlerin doluluk oranına göre hesaplanan CV değerleri ve bu değerlerin zamana bağlı değişimleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir. CV değerlerinde 2. dakika itibari ile keskin bir düşüş yaşanmış bundan sonraki sürelerde değişimler azalmıştır. %90 doluluk oranında mikser içindeki malzemelerin fazla olması nedeniyle homojenite 20 dakikalık karışım süresinden sonra bozulmaya başlamış ve dolayısı ile CV değeri yeniden artmıştır. Diğer doluluk oranlarında da CV değerleri zamanla artış ve düşüş gösterse de genel olarak kabul sınırları ($CV < \%10$) içerisinde yer almıştır.

3.4.2.1. Model Toz Sütlaç Ürünüde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri

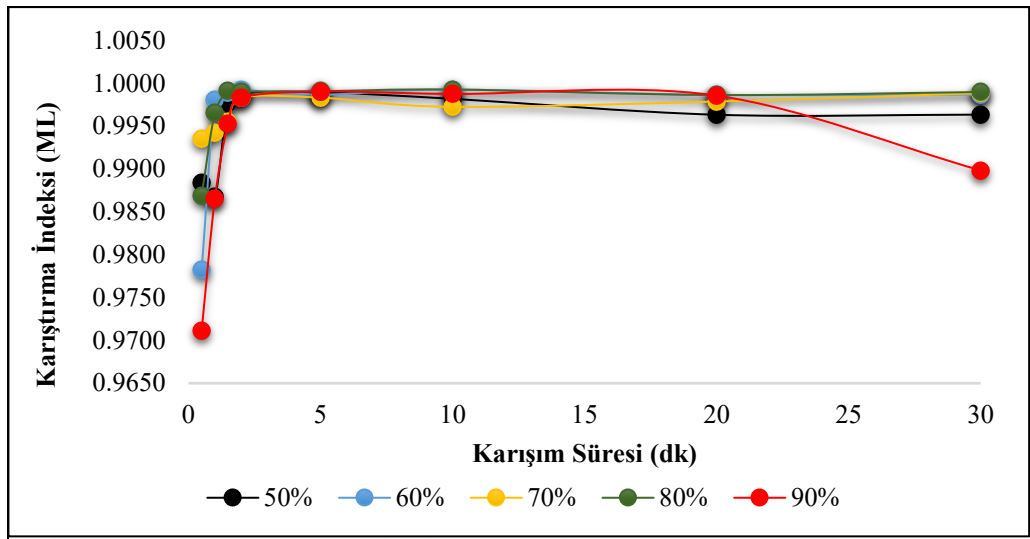
Model toz sütlaç ürünüde hesaplanan ve karışımların kalitesini ifade etmekte kullanılan Lacey karıştırma indeksi değerleri Tablo 3.16’da listelenmiş ve zamana bağlı değişimleri Şekil 3.12’de görselleştirilmiştir. Farklı doluluk oranlarında ve zamana bağlı olarak hesaplanan karıştırma indeksi değerleri 0.9712–0.9993 arasında değişmiş ve homojen karışımın meydana geldiğini göstermiştir. Grafiğe aktarılan bu değerler ilk 2 dakika içinde hızlı bir artışı, 2–20 dakikalar arasında denge halini ve 20. dakikadan sonra dalgalanmanın olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.16. Model Toz Sütlaç ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	0.9884	0.9782	0.9935	0.9869	0.9712
1	0.9867	0.9981	0.9942	0.9965	0.9865
1.5	0.9977	0.9989	0.9956	0.9991	0.9952
2	0.9988	0.9992	0.9983	0.9991	0.9983
5	0.9990	0.9987	0.9983	0.9991	0.9991
10	0.9982	0.9993	0.9973	0.9993	0.9988
20	0.9963	0.9987	0.9979	0.9986	0.9986
30	0.9964	0.9987	0.9989	0.9990	0.9898



Şekil 3.11. Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları



Şekil 3.12. Model Toz Sütlaç ürününde Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerlerinin faktör/seviyelere bağlı değişimi

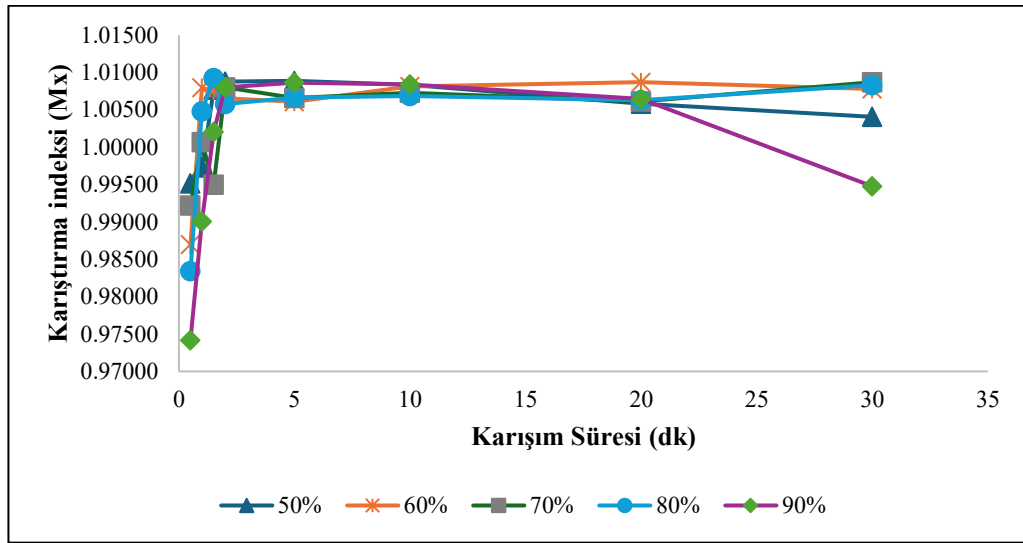
Lacey karıştırma indeksine ilave olarak X^2 (ki-kare) değerleri kullanılarak karıştırma (M_X) ve ayrışma (S_X) indeksleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile beklenen reçete değerleri kullanılarak X^2 hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3.17’de listelenmiştir. Üç bileşenden oluşan toz sütlaç modelinde pirinç ve şeker miktarı belirlendikten sonra örnek miktarından çıkarılmış ve nişasta miktarı tespit edilmiştir. Dolayısı ile serbestlik derecesi 2 (3-1) olarak belirlenmiştir. Her bir karışım için 10 gözlem yapılmış ve dolayısı ile toplam serbestlik derecesi $10 \times 2 = 20$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer tam karışımın sağlandığı X_r^2 (rastsal karışım) değeri olarak kullanılmıştır. Analizlerde bileşen miktarları 100 g ürün içerisinde bulunan miktarlar olduğundan X_0^2 (tam ayrılmış karışım) değeri 2000 (20×100) olarak kabul edilmiştir. X^2 değerinin karışımın homojenliği arttıkça azalması ve tam bir karışım meydana geldiğinde X_r^2 değerine ulaşması beklenmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde %50 ve %90 doluluk durumunda 1. dakikadan sonra, %60 ve %80 dolulukta 0.5 dakika sonrasında, %70 dolulukta 1.5 dakika sonrasında $X_r^2 = 20$ değerinin altına düşmüştür. Ancak %90 doluluk oranında 30 dakikalık karışım süresinde yeniden bu değer üzerine çıkmıştır. X_r^2 değerinin altındaki X^2 değerleri negatif ayrışma indeksi hesaplanmasına neden olmuştur. Tablo 3.17’de verilen X^2 değerleri kullanılarak karıştırma ve ayrışma indeksleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3.18–3.19’da yer almıştır.

Tablo 3.17. Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare (χ^2) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	29.5902	45.7546	35.4307	52.8616	71.1082
1	25.3435	4.2593	18.6145	10.4703	39.7160
1.5	4.7477	5.0843	29.9664	1.7072	15.9505
2	2.5793	6.9918	4.1726	8.5662	4.1089
5	2.4141	7.9229	6.9031	6.8329	2.8982
10	3.5076	3.9169	5.5975	6.4742	3.4015
20	8.5024	2.7615	7.8675	7.5062	7.2065
30	11.9128	4.5893	2.7885	3.5127	30.3349

Tablo 3.18. Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

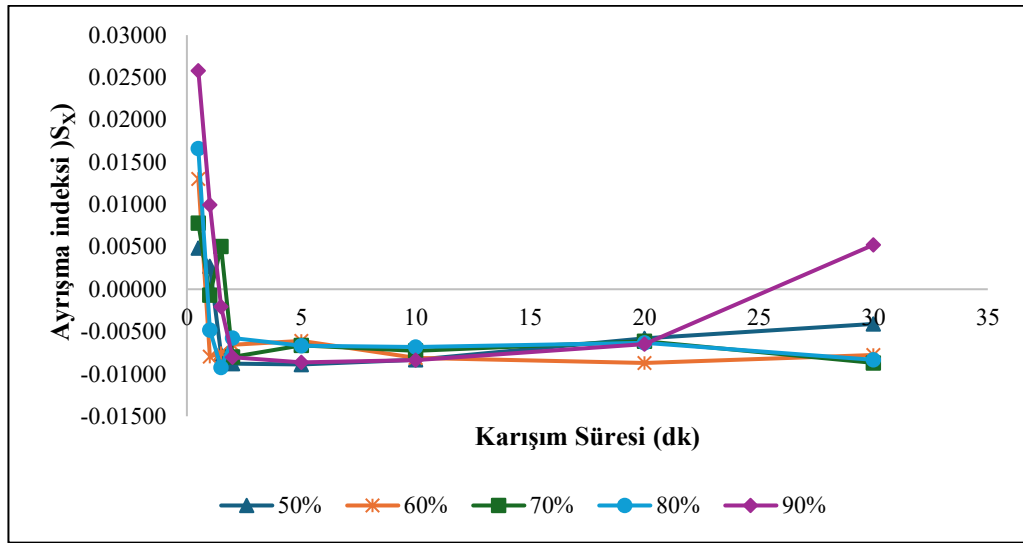
Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	0.99516	0.98699	0.99221	0.98340	0.97419
1	0.99730	1.00795	1.00070	1.00481	0.99004
1.5	1.00770	1.00753	0.99497	1.00924	1.00205
2	1.00880	1.00657	1.00799	1.00577	1.00803
5	1.00888	1.00610	1.00661	1.00665	1.00864
10	1.00833	1.00812	1.00727	1.00683	1.00838
20	1.00581	1.00871	1.00613	1.00631	1.00646
30	1.00408	1.00778	1.00869	1.00833	0.99478



Şekil 3.13. Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_x) değerleri

Tablo 3.19. Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare ayırışma indeksi (S_x) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
0.5	0.00484	0.01301	0.00779	0.01660	0.02581
1	0.00270	-0.00795	-0.00070	-0.00481	0.00996
1.5	-0.00770	-0.00753	0.00503	-0.00924	-0.00205
2	-0.00880	-0.00657	-0.00799	-0.00577	-0.00803
5	-0.00888	-0.00610	-0.00661	-0.00665	-0.00864
10	-0.00833	-0.00812	-0.00727	-0.00683	-0.00838
20	-0.00581	-0.00871	-0.00613	-0.00631	-0.00646
30	-0.00408	-0.00778	-0.00869	-0.00833	0.00522



Şekil 3.14. Model Toz Sütlaç ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S_x) değerleri

Tablo 3.19’da listelenen ayırma indeksi değerleri zamana bağlı olarak Şekil 3.14’te görselleştirilmiştir. Lacey karıştırma indeksi değerlerine benzer eğilimde ilk 2 dakika içinde hızlı bir düşüş yakalanmış ve sonrasında bir denge hali almıştır. 20. Dakika sonrasında ise artışlar söz konusu olmuştur. Toz sütlaç için hesaplanan ki-kare karıştırma indeksi değerleri ise ayırma indeksi değerlerine zıt yönde ancak Lacey karıştırma indeksleri ile aynı eğilimi göstermiştir (Şekil 3.13). Negatif hesaplanan ayırma indeksleri için 1’in üzerinde karıştırma indeksi tespit edilmiştir. Ancak bu negatif indeks değerleri 0, ve 1’den fazla olan değerler 1 olarak kabul edilip tam karışımın sağlandığı varsayılmıştır.

Toz sütlaç için belirlenen indeks değerleri ve hesaplamada kullanılan X^2 değerleri arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Tablo 3.20’de gösterilen değerler incelendiğinde Lacey karıştırma indeksi ki-kare karıştırma indeksi ile pozitif, X^2 ve ki-kare ayırma indeksi ile negatif güçlü bir ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir. Ayırma indeksi X^2 değeri ile pozitif, ki-kare ayırma indeksi ile negatif mükemmel bir ilişki göstermiştir.

Tablo 3.20. Model Toz Sütlaç ürününde karıştırma/ayırışma indeksleri arasındaki korelasyon

Parametre	M_L	S_X	X^2
S_X	-0.934		
X^2	-0.934	1.000	
M_X	0.934	-1.000	-1.000

M_L : Lacey karıştırma indeksi, S_X : ki-kare ayırışma indeksi, X^2 : ki-kare değeri, M_X : ki-kare karıştırma indeksi

Koyu karakterdeki sayılar 0.05 güvenirlik seviyesinde önemlidir.

3.4.2.2. Model Toz Sütlaç Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

3.4.2.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon

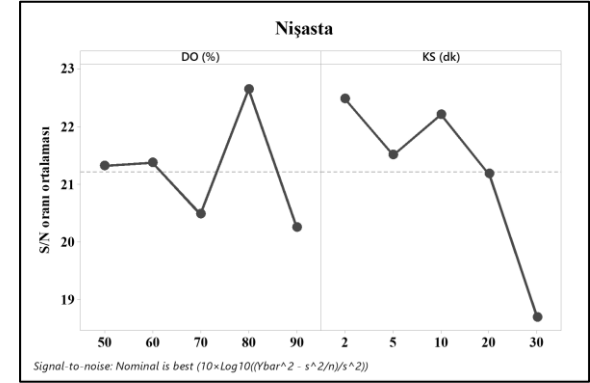
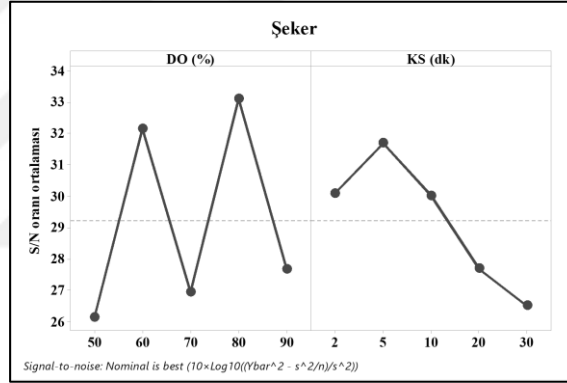
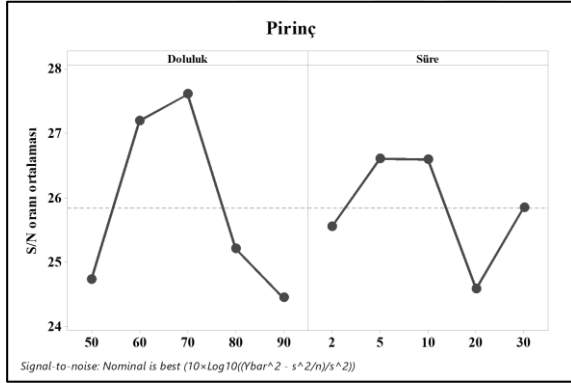
Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar L_{25} ortogonal Taguchi Deneysel Tasarım yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir bileşene ait ortalama miktarlar (%) ve % CV değerleri için hesaplanan S/N oranları Tablo 3.21’de ve Şekil 3.15 ile 3.16’da sunulmuştur. S/N oranlarının tespit edilmesinde bileşenlerin ortalama miktarları “hedef değer – en iyi”; % CV değerleri ise “en küçük – en iyi” prensibine göre hesaplanmıştır. Çünkü mikser içinden alınan numunelerin bileşen miktarlarının belirlenmesinde reçete değerlerine ulaşması hedeflenmiştir. Homojen karışım sağlandığının göstergesi olarak kullanılan % CV değerlerinin ise en düşük değerde olması beklenmiştir. Bu kriterler göz önüne alınarak hesaplanan S/N oranlarının en büyük değeri hedeflenen durumu göstermektedir. Taguchi yönteminde S/N oranlarının en yüksek değerlerini belirleyen karışım süresi ve mikser doluluk oranları Tablo 3.22’de belirtilmiştir.

Tablo. 3.21. Model Toz Sütlaç ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları

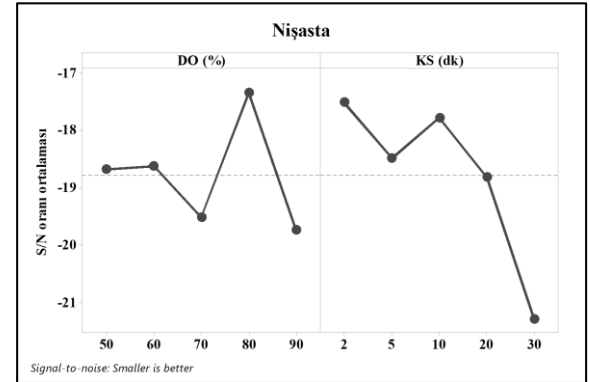
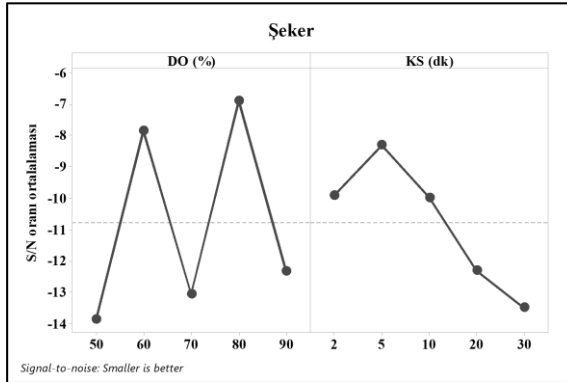
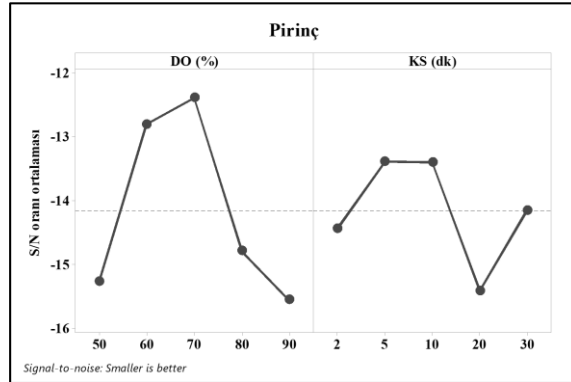
Faktör/Seviye		Deneysel Sonuçlar						Taguchi S/N oranı					
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar (%)			CV (%)			Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
		Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
50	2	30.740	50.073	19.187	4.653	3.514	7.346	26.644	29.082	22.677	-13.355	-10.917	-17.321
50	5	30.576	50.360	19.063	4.970	3.185	6.463	26.072	29.938	23.789	-13.927	-10.062	-16.209
50	10	30.741	49.351	19.908	5.341	4.504	9.286	25.446	26.927	20.639	-14.553	-13.072	-19.357
50	20	29.243	48.806	21.951	7.593	7.803	9.683	22.389	22.152	20.276	-17.608	-17.845	-19.720
50	30	29.726	47.386	22.888	6.995	7.417	10.961	23.102	22.594	19.198	-16.896	-17.404	-20.797
60	2	30.936	52.061	17.003	4.670	2.495	5.744	26.613	32.058	24.815	-13.386	-7.941	-15.184
60	5	31.012	51.911	17.078	5.825	1.985	10.369	24.692	34.043	19.681	-15.306	-5.957	-20.315
60	10	30.997	50.985	18.018	3.417	1.889	7.956	29.326	34.475	21.983	-10.674	-5.524	-18.014
60	20	30.516	49.979	19.505	5.305	3.024	8.889	25.505	30.387	21.020	-14.494	-9.612	-18.977
60	30	30.749	51.078	18.173	3.221	3.206	10.771	29.840	29.882	19.350	-10.160	-10.118	-20.645
70	2	29.917	48.784	21.299	5.103	4.358	8.621	25.842	27.214	21.285	-14.157	-12.785	-18.711
70	5	29.806	47.852	22.342	4.845	3.336	9.764	26.293	29.536	20.203	-13.706	-10.464	-19.793
70	10	30.457	48.736	20.807	3.619	6.182	12.167	28.828	24.175	18.290	-11.172	-15.823	-21.703
70	20	30.377	47.337	22.286	3.977	5.438	9.831	28.009	25.290	20.144	-11.990	-14.709	-19.852
70	30	30.029	48.954	21.017	3.525	3.719	7.505	29.057	28.590	22.491	-10.943	-11.410	-17.507
80	2	30.306	52.890	16.805	5.837	2.245	6.689	24.675	32.976	23.491	-15.323	-7.024	-16.508
80	5	30.140	52.594	17.267	5.410	1.930	7.539	25.335	34.290	22.451	-14.664	-5.709	-17.546
80	10	29.496	53.033	17.471	4.583	1.902	6.715	26.776	34.417	23.457	-13.223	-5.583	-16.541
80	20	29.488	52.989	17.522	7.084	2.437	8.301	22.992	32.263	21.615	-17.006	-7.737	-18.382
80	30	29.721	51.708	18.571	4.841	2.629	7.733	26.300	31.605	22.230	-13.699	-8.395	-17.767
90	2	30.180	51.001	18.819	6.299	3.461	9.879	24.013	29.215	20.101	-15.985	-10.784	-19.895
90	5	30.946	50.321	18.733	2.936	2.921	8.500	30.645	30.690	21.408	-9.354	-9.309	-18.589
90	10	28.808	51.722	19.470	7.404	3.098	4.642	22.608	30.179	26.665	-17.390	-9.821	-13.334
90	20	29.885	52.675	17.440	6.291	3.799	7.212	24.024	28.407	22.836	-15.974	-11.592	-17.162
90	30	29.495	54.477	16.028	8.951	10.113	30.562	20.959	19.898	10.256	-19.037	-20.098	-29.704

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen optimum noktayı göstermektedir.



Şekil 3.15. Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durum



Şekil 3.16. Model Toz Sütlaç ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları

Tablo 3.22. Model Toz Sütlaç ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları

a) Ortalama Miktar (%) için S/N oranları b) % CV için S/N oranları

a)	Pirinç		Şeker		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	24.73	25.56	26.14	30.11	21.32	22.47
2	27.2	26.61	32.17	31.7	21.37	21.51
3	27.61	26.6	26.96	30.03	20.48	22.21
4	25.22	24.58	33.11	27.7	22.65	21.18
5	24.45	25.85	27.68	26.51	20.25	18.7
Fark	3.16	2.02	6.97	5.19	2.4	3.77
Sıra	1	2	1	2	2	1
% Katkı	61.004	38.996	57.319	42.681	38.898	61.102

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 1 (2 dk)

b)	Pirinç		Şeker		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	-15.27	-14.44	-13.86	-9.89	-18.68	-17.52
2	-12.8	-13.39	-7.831	-8.3	-18.63	-18.49
3	-12.39	-13.4	-13.038	-9.965	-19.51	-17.79
4	-14.78	-15.41	-6.89	-12.299	-17.35	-18.82
5	-15.55	-14.15	-12.321	-13.485	-19.74	-21.28
Fark	3.15	2.02	6.971	5.185	2.39	3.76
Sıra	1	2	1	2	2	1
% Katkı	60.93	39.07	52.211	47.789	38.86	61.14

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 1 (2 dk)

Genel optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 1 (2 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen en yüksek S/N oranını göstermektedir.

Tablo 3.22’de ifade edilen değerler göz önüne alındığında karışımın optimum noktası ortalama miktarlara ait S/N oranları tablosuna (a) göre Doluluk oranının 3. Seviyesi olan % 70; ve karışım süresinin de 1. Seviyesi olan 2 dakikalık karışımı işaret etmiştir. % CV

değerlerine ait S/N oranları incelendiğinde (b) optimum karışım %70 dolulukta ve 2 dakikalık karışım sonucunda elde edilmiştir. Model ürünlerde karışımın optimum noktası, ortalama miktarlar ve % CV değerlerine ait S/N oranlarının genel optimizasyonu sonucu elde edilmektedir. Bu nedenle bu iki sonuca ait % katkı değerleri dikkate alınarak %70 doluluk ve 2 dakikalık karışım genel optimum noktası olarak belirlenmiştir.

3.4.2.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Çalışmanın bu bölümünde toz sütlaç model ürününe ait optimum karışım parametreleri Gri İlişkisel Analiz yöntemine göre belirlenmiştir. GİA uygulamasında kriterlerin ağırlıkları hem Taguchi hem de Entropi yöntemleriyle ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Taguchi metodu ile kriter ağırlıklandırma işlemi her bir bileşen için her bir kriter seviyesinde Delta (fark) tespit edilerek saptanmıştır. Bu amaçla Tablo 3.22’de belirtilen değerler esas teşkil etmiştir. Örneğin pirinç için delta değerleri, ortalama değerler S/N oranı tablosunda DO kriteri için 3.16 ve KS kriteri için 2.02 olarak tespit edilmiş ve toplamı 5.18 olarak hesaplanmıştır. Bu tabloda belirtilen % katkı her bir delta değerinin toplam deltaya bölünmesiyle bulunmuştur. Diğer bileşenler için de benzer hesaplamalar yapılarak Tablo 3.23’te listelenen kriter ağırlıkları saptanmıştır. Toz sütlaç ürünü için şeker bileşeninin katkısı %25.88 ve %25.87 değerleri ile en yüksek değerde olup, bu bileşenin en önemli bileşen olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.23. Model Toz Sütlaç ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
Delta	5.18	12.16	6.17	5.17	12.156	6.15
% Katkı	11.02	25.88	13.13	11.00	25.87	13.09
Ağırlık (W_i)	0.11	0.26	0.13	0.11	0.26	0.13

GİA yönteminin uygulanmasında ilk adım olarak deneysel veriler normalize edilmiştir. Bu amaçla bileşenlerin ortalama miktarları Taguchi metodunda olduğu gibi “hedef değer–en iyi”; CV değerleri ise “en küçük–en iyi” prensibine uygun olarak Denklem 29 ve 30

kullanılarak normalleştirilmiştir. Ardından Denklem 31 yardımıyla uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Normalize veriler matrisi, uzaklık matrisi ve GİK değerleri Tablo 3.24'te listelenmiştir. GİK hesaplamasında ayırım katsayısı (ϕ) 0.5 olarak kullanılmıştır.



Tablo 3.24. Model Toz Sütlaç ürünü için oluşturulan GİA değerleri

Faktör/Seviye		Normalize Veriler						Uzaklık Matrisi						Gri İlişki Katsayısı (GİK)					
		Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV		
		Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
DO (%)	KS (dk)																		
50	2	0.379	0.984	0.795	0.714	0.802	0.896	0.597	0.012	0.182	0.286	0.198	0.104	0.456	0.978	0.734	0.637	0.717	0.827
50	5	0.517	0.920	0.764	0.662	0.842	0.930	0.459	0.076	0.213	0.338	0.158	0.070	0.521	0.868	0.702	0.597	0.760	0.877
50	10	0.379	0.855	0.977	0.600	0.682	0.821	0.597	0.140	0.000	0.400	0.318	0.179	0.456	0.781	1.000	0.556	0.611	0.736
50	20	0.365	0.733	0.509	0.226	0.281	0.806	0.611	0.262	0.468	0.774	0.719	0.194	0.450	0.656	0.516	0.392	0.410	0.720
50	30	0.770	0.416	0.273	0.325	0.328	0.756	0.205	0.579	0.704	0.675	0.672	0.244	0.709	0.463	0.415	0.426	0.427	0.672
60	2	0.215	0.540	0.245	0.712	0.926	0.957	0.761	0.456	0.731	0.288	0.074	0.043	0.396	0.523	0.406	0.634	0.872	0.922
60	5	0.151	0.573	0.264	0.520	0.988	0.779	0.824	0.422	0.713	0.480	0.012	0.221	0.378	0.542	0.412	0.510	0.977	0.694
60	10	0.164	0.780	0.501	0.920	1.000	0.872	0.812	0.215	0.476	0.080	0.000	0.128	0.381	0.699	0.512	0.862	1.000	0.796
60	20	0.567	0.995	0.875	0.606	0.862	0.836	0.409	0.000	0.101	0.394	0.138	0.164	0.550	1.000	0.831	0.559	0.784	0.753
60	30	0.371	0.759	0.540	0.953	0.840	0.764	0.604	0.236	0.437	0.047	0.160	0.236	0.453	0.679	0.534	0.913	0.757	0.679
70	2	0.930	0.728	0.673	0.640	0.700	0.846	0.045	0.267	0.304	0.360	0.300	0.154	0.917	0.652	0.622	0.581	0.625	0.765
70	5	0.838	0.520	0.410	0.683	0.824	0.802	0.138	0.475	0.566	0.317	0.176	0.198	0.784	0.513	0.469	0.612	0.740	0.717
70	10	0.617	0.718	0.797	0.886	0.478	0.710	0.359	0.278	0.180	0.114	0.522	0.290	0.582	0.643	0.735	0.815	0.489	0.633
70	20	0.684	0.405	0.425	0.827	0.568	0.800	0.292	0.590	0.552	0.173	0.432	0.200	0.631	0.459	0.475	0.743	0.537	0.714
70	30	0.976	0.766	0.744	0.902	0.777	0.890	0.000	0.229	0.233	0.098	0.223	0.110	1.000	0.686	0.682	0.836	0.692	0.819
80	2	0.744	0.355	0.196	0.518	0.957	0.921	0.232	0.641	0.781	0.482	0.043	0.079	0.683	0.438	0.390	0.509	0.920	0.864
80	5	0.883	0.421	0.312	0.589	0.995	0.888	0.093	0.575	0.665	0.411	0.005	0.112	0.843	0.465	0.429	0.549	0.990	0.817
80	10	0.577	0.322	0.363	0.726	0.998	0.920	0.399	0.673	0.614	0.274	0.002	0.080	0.556	0.426	0.449	0.646	0.997	0.862
80	20	0.571	0.332	0.376	0.310	0.933	0.859	0.405	0.663	0.601	0.690	0.067	0.141	0.553	0.430	0.454	0.420	0.882	0.780
80	30	0.766	0.618	0.640	0.683	0.910	0.881	0.210	0.377	0.337	0.317	0.090	0.119	0.705	0.570	0.598	0.612	0.848	0.807
90	2	0.849	0.776	0.703	0.441	0.809	0.798	0.127	0.219	0.274	0.559	0.191	0.202	0.798	0.696	0.646	0.472	0.723	0.712
90	5	0.207	0.928	0.681	1.000	0.875	0.851	0.769	0.067	0.296	0.000	0.125	0.149	0.394	0.882	0.628	1.000	0.799	0.771
90	10	0.000	0.615	0.867	0.257	0.853	1.000	0.976	0.380	0.110	0.743	0.147	0.000	0.339	0.568	0.819	0.402	0.773	1.000
90	20	0.904	0.402	0.355	0.442	0.768	0.901	0.072	0.593	0.621	0.558	0.232	0.099	0.874	0.458	0.446	0.473	0.683	0.834
90	30	0.577	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.399	0.995	0.977	1.000	1.000	1.000	0.556	0.334	0.339	0.333	0.333	0.333

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

GİA yönteminin sonraki aşamasında Gri İlişki Derecesi (GİD) hesaplanmıştır. Bu amaçla Tablo 3.24'te yer alan her bir GİK Taguchi metoduyla elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılmış ve sonra tüm kriterler için toplanarak genel GİD elde edilmiştir. GİD değerlerinin hesaplanmasında hem ağırlıklı hem de herhangi bir ağırlık kriteri olmayan (tüm kriterlerin eşit ağırlıkta olduğu) değerler tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 3.25'te sıralanmıştır. Tablodaki veriler incelendiğinde ağırlıksız GİD₀'nin (ağırlıksız GİD) en yüksek değeri 0.786 ile %70 doluluk oranı ve 30 dakikalık karışımında elde edilmiştir. Taguchi metoduyla ağırlıklandırılan kriterlerin hesaba katılması sonucu elde edilen GİD_T ise %60 doluluk oranında 20 dakika karışım sonucu elde edilen 0.792 değeri olmuştur.

Belirlenen GİD değerlerinin ardından optimum koşulları belirlemek amacıyla faktör ve seviyelerine ait yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem için %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD₀ (%50) için yeni değer: $(0.725 + 0.721 + 0.690 + 0.524 + 0.519) / 5 = 0.636$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak hesaplanmıştır [GİD₀ (2 dk) için yeni değer: $(0.725 + 0.626 + 0.694 + 0.634 + 0.674) / 5 = 0.670$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerlerin yer aldığı tablolar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.26 – 3.27).

Tablo 3.25. Model Toz Sütlaç ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması

Faktör/Seviye		GİD ₀	Sıra	GİD _T	Sıra	GİD _E	Sıra
DO(%)	KS(dk)						
50	2	0.725	4	0.763	3	0.744	14
50	5	0.721	5	0.751	5	0.775	10
50	10	0.690	8	0.699	7	0.655	20
50	20	0.524	23	0.531	23	0.520	23
50	30	0.519	24	0.498	24	0.513	24
60	2	0.626	19	0.648	15	0.842	4
60	5	0.585	22	0.636	17	0.792	8
60	10	0.708	6	0.748	6	0.896	1
60	20	0.746	2	0.792	1	0.740	15
60	30	0.669	12	0.681	11	0.749	13
70	2	0.694	7	0.677	12	0.668	19
70	5	0.639	16	0.633	18	0.706	16
70	10	0.650	15	0.626	19	0.595	22
70	20	0.593	20	0.565	22	0.630	21
70	30	0.786	1	0.756	4	0.759	12
80	2	0.634	17	0.647	16	0.825	5
80	5	0.682	10	0.693	9	0.849	3
80	10	0.656	13	0.672	13	0.883	2
80	20	0.587	21	0.608	21	0.765	11
80	30	0.690	9	0.696	8	0.791	9
90	2	0.674	11	0.685	10	0.679	18
90	5	0.746	3	0.772	2	0.817	6
90	10	0.650	14	0.667	14	0.796	7
90	20	0.628	18	0.611	20	0.699	17
90	30	0.372	25	0.359	25	0.334	25

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi, **GİD₀:** Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, **GİD_T:** Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, **GİD_E:** Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi
Koyu karakterdeki değerler farklı yöntemlerle belirlenen en iyi karışım noktalarını belirtmektedir.

Tablo 3.26. Model Toz Sütlaç ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD₀ değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.636	0.667	0.672	0.650	0.614	0.058	2
KS (dk)	0.670	0.675	0.671	0.616	0.607	0.068	1
Ortalama	0.648						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 2 (5 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

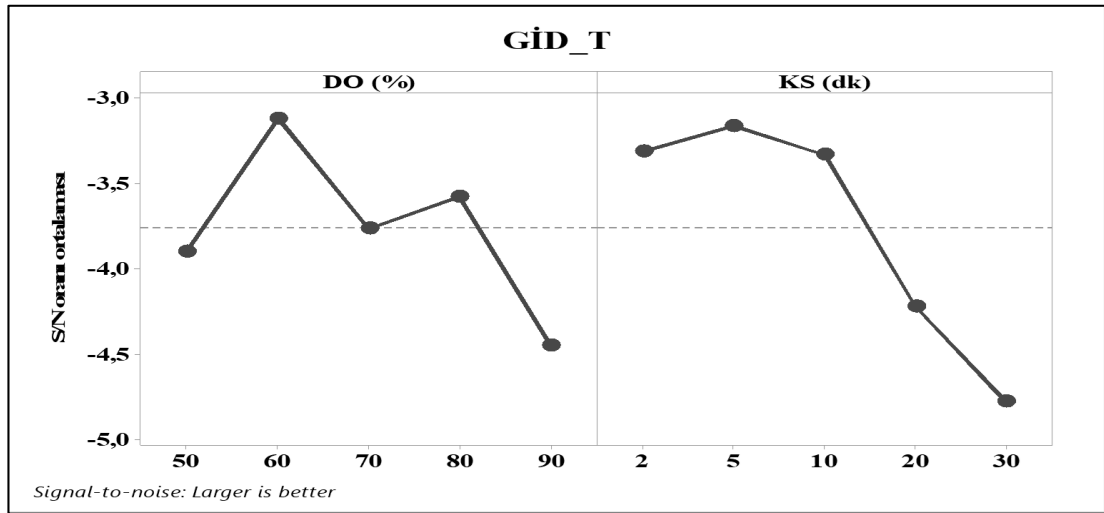
Tablo 3.27. Model Toz Sütlaç ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD_T değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.649	0.701	0.651	0.663	0.619	0.082	2
KS (dk)	0.684	0.697	0.683	0.621	0.598	0.099	1
Ortalama	0.657						

Optimum Seviyeler: DO (%): 2 (%60) ve KS (dk): 2 (5 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde elde edilen GİDT değerlerinin S/N oranı değerleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir. GİDT grafiği incelendiğinde DO ve KS faktörlerinin 2.seviyelerinin en yüksek S/N oranına sahip olduğu ve optimum nokta olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 3.27’deki bilgileri doğrulamıştır.



Şekil 3.17. Model Toz Sütlaç ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD_T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.28 ile 3.29’da gösterilmiştir. Ağırlıksız GİD değerlerine ait varyans tablosu incelendiğinde hem DO hem KS faktörlerinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. GİD₀ değerlerine karışımı etkileyen ve kontrol edilemeyen faktörlerin (hata) etkisi daha büyük tespit edilmiştir. Faktörlerin modele olan etkileri göz önüne alındığında %12.29 katkı ile KS faktörünün daha önemli olduğu ve Tablo 3.26’da yer alan sıralamayla uyum içinde bulunduğu belirlenmiştir. Taguchi ağırlıklı GİA yönteminde elde edilen GİD değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına göre (Tablo 3.29) yine iki faktörün model üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) tespit edilmiştir. GİD_T değerleri için de karışım süresinin etkisi %17.54 katkı ile daha büyük olmuş ve Tablo 3.27’deki sıralamayı desteklemiştir.

Tablo. 3.28. Model Toz Sütlaç ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD₀ değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.01130	0.002825	0.31	0.870	6.23
KS (dk)	4	0.02231	0.005577	0.60	0.666	12.29
Hata	16	0.14784	0.009240			81.48
Toplam	24	0.18145				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması
DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo. 3.29. Model Toz Sütlaç ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_T değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.01767	0.004417	0.43	0.786	7.97
KS (dk)	4	0.03886	0.009714	0.94	0.465	17.54
Hata	16	0.16504	0.010315			74.49
Toplam	24	0.22156				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması
DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında belirlenen genel optimum karışım faktörleri ve seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Bu amaçla Denklem 38 kullanılmıştır. Ağırlıksız GİD₀ değerinin optimum noktası olan %70 doluluk ve 5 dakikalık karışım süresi için belirlenen GİD değeri 0.699 olmuştur. $[GİD_0 = 0.648 + (0.672 - 0.648) + (0.675 - 0.648) = 0.699]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz sütlaç ürünü için %70 doluluk ve 5 dakikalık karışımında elde edilen GİD₀ değeri 0.639 olarak belirlenmiştir. Tahmini ve deneysel verilerin birbiriyle uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Taguchi ağırlıklı GİD değerinin optimum seviyeler olan %60 doluluk oranı ve 5 dk karışım süresi için tahminlenen değeri 0.741 olmuştur $[GİD_T = 0.657 + (0.701 - 0.657) + (0.697 - 0.657) = 0.741]$. Deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanan optimum noktaya ait GİD_T değeri 0.636 olarak saptanmış ve tahminlenen değerden daha düşük tespit edilmiştir.

3.4.2.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Çalışmanın bu aşamasında entropi yöntemiyle kriter ağırlıkları hesaplanmış ve GİA yöntemine entegre edilmiştir. Entropi yönteminin ilk aşaması diğer yöntemlerde olduğu gibi verilerin normalleştirilmesi ve normalize karar matrisinin oluşturulması olmuştur. Bu amaçla Denklem 24 kullanılarak normalize edilen veriler Tablo 3.30'da verilmiştir. Entropi (e_j) değerlerinin hesaplanmasında Denklem 26 kullanılmış ve denklemde yer alan k sabiti $1/\ln(m)$ formülü ile hesaplanmıştır. m değeri alternatif sayısını belirtmekte olup toz sütlaç için deneysel nokta sayısı olan 25 olarak değerlendirilmiştir. Entropi değerleri (e_j) ve farklılaşma dereceleri (d_j) Tablo 3.31'de listelenmiştir. Burada yer alan d_j değerleri

entropi değerlerinin 1'den çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Son aşama olan ağırlıkların (w_j) hesaplanmasında Denklem 27 kullanılmış ve her bir kriterin d_j değeri toplam d_j değerine bölünerek elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek kriter ağırlığı %47.05'lik değeri ile şeker bileşeninin CV değerine ait olmuştur. CV değerlerine ait kriter ağırlıkları ortalama miktarların kriter ağırlıklarına göre oldukça yüksek tespit edilmiştir.

Tablo 3.30. Model Toz Sütlaç ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler					
		Ortalama Miktar			CV		
		Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
DO (%)	KS (dk)						
50	2	0.0408	0.0395	0.0401	0.0351	0.0364	0.0315
50	5	0.0405	0.0397	0.0398	0.0375	0.0330	0.0277
50	10	0.0408	0.0389	0.0416	0.0403	0.0466	0.0398
50	20	0.0388	0.0385	0.0459	0.0572	0.0808	0.0415
50	30	0.0394	0.0374	0.0478	0.0527	0.0768	0.0470
60	2	0.0410	0.0411	0.0355	0.0352	0.0258	0.0246
60	5	0.0411	0.0410	0.0357	0.0439	0.0206	0.0445
60	10	0.0411	0.0402	0.0376	0.0258	0.0196	0.0341
60	20	0.0405	0.0394	0.0408	0.0400	0.0313	0.0381
60	30	0.0408	0.0403	0.0380	0.0243	0.0332	0.0462
70	2	0.0397	0.0385	0.0445	0.0385	0.0451	0.0370
70	5	0.0395	0.0378	0.0467	0.0365	0.0345	0.0419
70	10	0.0404	0.0385	0.0435	0.0273	0.0640	0.0522
70	20	0.0403	0.0374	0.0466	0.0300	0.0563	0.0422
70	30	0.0398	0.0386	0.0439	0.0266	0.0385	0.0322
80	2	0.0402	0.0417	0.0351	0.0440	0.0232	0.0287
80	5	0.0400	0.0415	0.0361	0.0408	0.0200	0.0323
80	10	0.0391	0.0419	0.0365	0.0345	0.0197	0.0288
80	20	0.0391	0.0418	0.0366	0.0534	0.0252	0.0356
80	30	0.0394	0.0408	0.0388	0.0365	0.0272	0.0332
90	2	0.0400	0.0403	0.0393	0.0475	0.0358	0.0424
90	5	0.0410	0.0397	0.0391	0.0221	0.0302	0.0365
90	10	0.0382	0.0408	0.0407	0.0558	0.0321	0.0199
90	20	0.0396	0.0416	0.0364	0.0474	0.0393	0.0309
90	30	0.0391	0.0430	0.0335	0.0675	0.1047	0.1311

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.31. Model Toz Sütlaç ürününde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar			CV		
	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
Entropi (e_j)	0.99994	0.99978	0.99845	0.98809	0.96345	0.97258
Farklılaşma derecesi (d_j)	0.00006	0.00022	0.00155	0.01191	0.03655	0.02742
Ağırlık (w_j)	0.00077	0.00282	0.01995	0.15325	0.47029	0.35292

Belirlenen kriter ağırlıklarının ardından GİA yönteminde GİD hesaplaması yapılmıştır. Bu amaçla Tablo 3.24'te yer alan GİK değerleri her bir bileşene ait kriter ağırlığı ile çarpılarak toplanmıştır. Elde edilen GİD_E değerleri ve en yüksek değerden başlanarak yapılan sıralama Tablo 3.25'te listelenmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde en yüksek GİD_E değeri 0.896 ile %60 doluluk ve 10 dakikalık karışımda belirlenmiştir.

Entropi ağırlıklı GİA yönteminin optimum koşulları belirlemek amacıyla faktörler ve seviyelerin yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Örneğin %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri belirlenmiştir. [GİD_E (%50) için yeni değer: $(0.744 + 0.775 + 0.655 + 0.520 + 0.513) / 5 = 0.641$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD_E (2 dk) için yeni değer: $(0.744 + 0.842 + 0.668 + 0.825 + 0.679) / 5 = 0.752$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerler Tablo 3.32'de yer almıştır. Bulgular mikserin doluluk oranı için 4. ve karışım süresi için 2.seviyenin optimum olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.32. Model Toz Sütlaç ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD_E değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark Mak-min	Sıralama
	1	2	3	4	5		
DO (%)	0.641	0.804	0.672	0.823	0.665	0.181	1
KS (dk)	0.752	0.788	0.765	0.671	0.629	0.159	2
Ortalama	0.721						

Optimum Seviyeler: DO (%): 4 (%80) ve KS (dk): 2 (5 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.33'te gösterilmiştir. Tablodaki veriler ışığında mikserin doluluk oranının GİD değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) iken karışım süresinin etkisi önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Faktörlerin modele sundukları katkı ise %36.40 ile doluluk oranının ve %22.94 ile karışım süresinin olmuştur. Bu katkı değerlerinin faktör önem sıralamasının yer aldığı Tablo 3.32 ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Tablo. 3.33. Model Toz Sütlaç ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_E değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.14558	0.03640	3.60	0.028	36.4
KS (dk)	4	0.09154	0.02289	2.26	0.108	22.94
Hata	16	0.16198	0.01012			40.59
Toplam	24	0.39911				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **DO:** Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında genel optimum karışım seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Denklem 38 kullanılarak yapılan hesaplamada GİD_E değerinin optimum nokta olarak belirlenen %80 doluluk ve 5 dakikalık karışım süresi için 0.871 olduğu saptanmıştır. $[GİD_E = 0.721 + (0.823 - 0.721) + (0.788 - 0.721) = 0.871]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz sütlaç ürünü için %80 doluluk ve 5 dakikalık karışımında elde edilen GİD_E değeri 0.849 olarak belirlenmiştir. Tahmini ve deneysel verilerin birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür.

Model toz sütlaç ürünüde farklı yöntemler kullanılarak belirlenen optimum karışım noktaları ve bu noktalardaki deneysel sonuçlara ait veriler Tablo 3.34'te özetlenmiştir. Dört farklı yöntemle belirlenen optimum koşullar birbirinden farklılık göstermiştir. Taguchi ağırlıklı GİA yönteminde nişastaya ait ortalama miktar ve CV değerleri, ağırlıksız GİA ve entropi ağırlıklı GİA yöntemlerinde nişasta ortalama miktarları kabul sınırı dışında kalmıştır.

Tablo 3.34. Model Toz Sütlaç ürünüde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Yöntem	Optimum Faktör/Seviye		Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	DO (%)	KS (dk)	Pirinç	Şeker	Nişasta	Pirinç	Şeker	Nişasta
Taguchi	70	2	29.917	48.784	21.299	5.103	4.358	8.621
GİA (ağırlıksız)	70	5	29.806	47.852	22.342	4.845	3.336	9.764
Taguchi Ağırlıklı GİA	60	5	31.012	51.911	17.078	5.825	1.985	10.369
Entropi Ağırlıklı GİA	80	5	30.140	52.594	17.267	5.410	1.930	7.539

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanamadığı değerleri ifade etmektedir.

3.4.3. Model Toz Çorba Ürün Karışımı Analizi

Model toz çorba ürünü hazırlamak amacıyla şehriye, tuz ve nişasta kullanılmıştır. Bileşenlerin farklı doluluk oranlarında kaplayacakları hacim yığın yoğunlukları esas alınarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.35'te listelenmiştir. Model toz çorba ürününün farklı süre ve doluluk oranlarında karışımları yapılarak alınan örnekler incelenmiştir. 100g'lık her bir örnek eleme yöntemiyle şehriyelerden arındırılmış ve tartılarak şehriye miktarı bulunmuştur. Nişasta ve tuzdan oluşan örnekler için briks analizi ile tuz konsantrasyonu belirlenmiş ve tuz için oluşturulan kalibrasyon eğrisinden tuz miktarı hesaplanmıştır. Toplam örnek ağırlığından şehriye ve tuz miktarları çıkarılarak kalan miktar nişasta olarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler her bir bileşen için tablolanmıştır (Tablo 3.36).

Tablo 3.35. Model Toz Çorba ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Parametre	Şehriye	Tuz	Nişasta
Ortalama partikül boyutu, d₅₀ (mm)	4.619	0.372	0.039
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm³)	0.711	0.974	0.488

Model toz çorba ürününde karışım süresi, mikserin doluluk oranı ve bu iki parametresinin etkileşiminin bileşenlerin ortalama miktarları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Bileşenlerin ortalama miktarlarının değerlendirilmişinde %10'luk sapma kabul kriteri olarak benimsenmiştir. Bu doğrultuda toz çorba bileşenlerinden şehriye için $60\pm\%10$, tuz için $15\pm\%10$ ve nişasta için $25\pm\%10$ değerleri homojen karışımın sağlandığının göstergesi olarak seçilmiştir. Bu sapma değerlerinin sonucu olarak şehriye bileşeninin 54–66 g/100 g örnek, tuzun 13.5–16.5 g/100 g örnek ve nişastanın 22.5–27.5 g/100 g örnek miktarları homojen olarak değerlendirilmiştir. Homojen karışımın bir diğer göstergesi olan bileşenlerin CV değerlerinin de %10 kritik seviyesinde olması değerlendirilmiştir. Toz orba model ürününde bileşenlerin doluluk oranına göre hesaplanan CV değerleri ve bu değerlerin zamana bağlı değişimleri şekil 3.18'de gösterilmiştir. CV değerlerinde farklı doluluk ve sürelerde tüm bileşenler için dalgalanmalar tespit edilse de bir karışım noktası dışındaki tüm CV değerleri %10'un altında saptanmıştır. Tuz bileşeninin %90 doluluk ve 2 dakikalık karışım noktasındaki CV değeri %11.162 olarak hesaplanmış ve kabul sınırı dışında kalmıştır.

Homojen karışımın tespiti amacıyla bu parametreler birlikte değerlendirildiğinde %50 doluluk oranında 2 dakikalık karışım süresi homojen yapının sağlanmasında yeterli bulunmuşken, %60 dolulukta 20 dakika, %70 dolulukta 5 dakika, %80 ve %90 dolulukta 10 dakikalık karışımlar homojenliğin sağlanmasında minimum süreler olarak tespit edilmiştir.

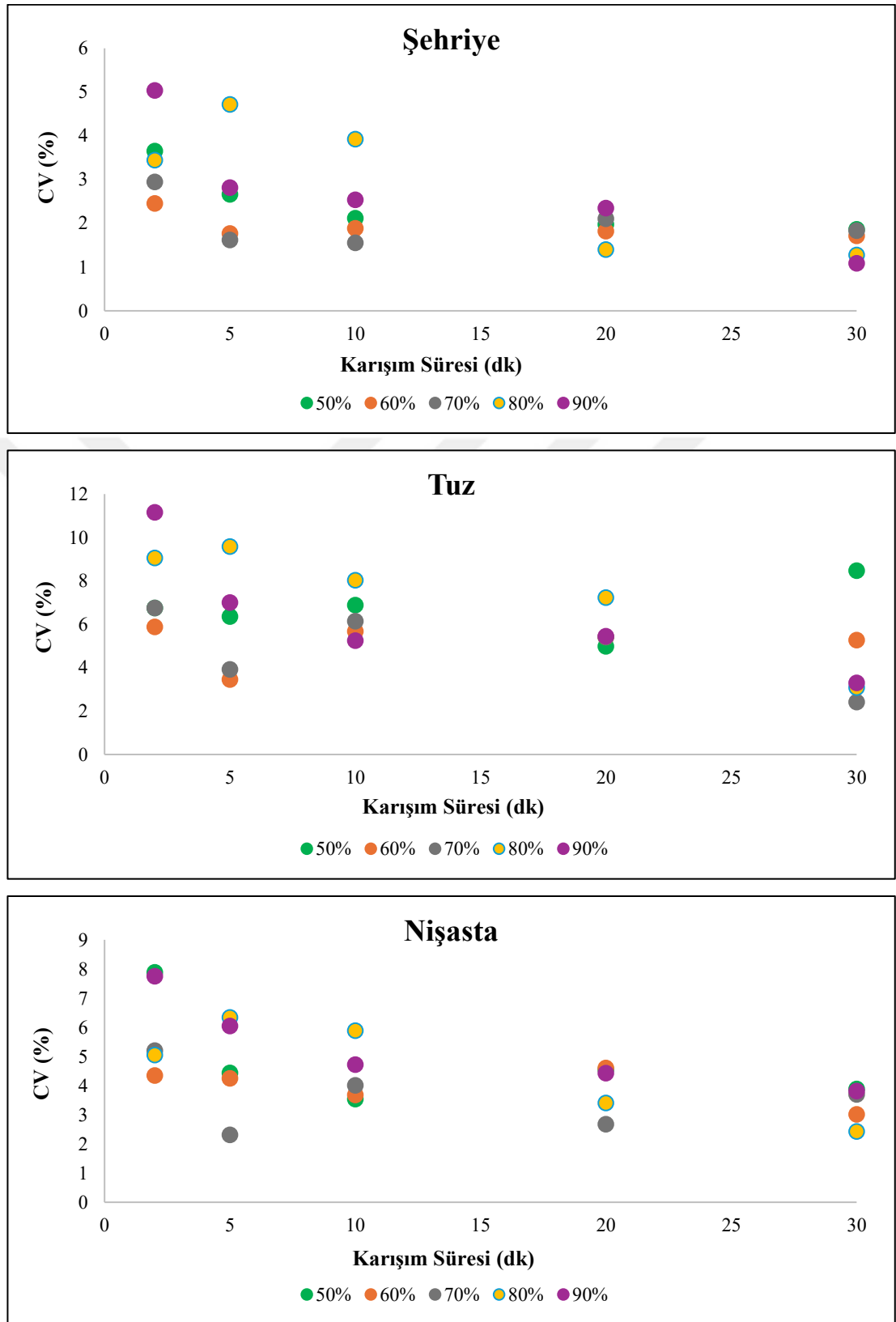
Tablo 3.36. Model Toz Çorba ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri

Bileşen	Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
		50	60	70	80	90
Şehriye	2	60.989 ± 2.228 ^{Aa}	60.438 ± 1.484 ^{Aa}	60.617 ± 1.786 ^{Aa}	61.863 ± 2.131 ^{Aa}	61.272 ± 3.085 ^{Aa}
	5	90.958 ± 1.621 ^{Aa}	61.186 ± 1.080 ^{Aa}	60.463 ± 0.980 ^{Aa}	60.811 ± 2.869 ^{Aa}	60.927 ± 1.717 ^{Aa}
	10	60.634 ± 1.283 ^{Aa}	60.534 ± 1.143 ^{Aa}	60.939 ± .947 ^{Aa}	60.956 ± 2.391 ^{Aa}	60.818 ± 1.543 ^{Aa}
	20	60.969 ± 1.203 ^{Aa}	60.707 ± 1.104 ^{Aa}	61.260 ± 1.290 ^{Aa}	60.789 ± 0.850 ^{Aa}	60.925 ± 1.431 ^{Aa}
	30	61.387 ± 1.145 ^{Aa}	60.048 ± 1.030 ^{Ba}	60.062 ± 1.101 ^{Ba}	60.956 ± 0.778 ^{ABa}	60.975 ± 0.661 ^{ABa}
Tuz	2	16.253 ± 1.098 ^{Aa}	16.439 ± 0.967 ^{Aa}	16.760 ± 1.132^{Aa}	16.047 ± 1.453 ^{Aa}	16.102 ± 1.797 ^{Aa}
	5	16.490 ± 1.048 ^{Aa}	16.719 ± 0.578^{Aa}	16.467 ± 0.646 ^{Aa}	16.750 ± 1.0605^{Aa}	16.709 ± 1.170^{Aa}
	10	16.436 ± 1.131 ^{Aa}	16.911 ± 0.959^{Aa}	16.333 ± 1.002 ^{Aa}	16.343 ± 1.312 ^{Aa}	16.345 ± 0.857 ^{Aa}
	20	16.346 ± 0.815 ^{Aa}	16.371 ± 0.886 ^{Aa}	16.209 ± 0.878 ^{Aa}	16.366 ± 1.184 ^{Aa}	16.109 ± 0.877 ^{Aa}
	30	16.067 ± 1.362 ^{Aa}	16.189 ± 0.853 ^{Aa}	16.396 ± 0.396 ^{Aa}	16.440 ± 0.508 ^{Aa}	16.647 ± 0.549^{Aa}
Nişasta	2	22.758 ± 1.795 ^{Aa}	23.122 ± 1.006 ^{Aab}	22.623 ± 1.176 ^{Aa}	22.089 ± 1.115^{Aa}	22.626 ± 1.755 ^{Aa}
	5	22.552 ± 1.000 ^{Aa}	22.095 ± 0.938^{Ab}	23.069 ± 0.534 ^{Aa}	22.439 ± 1.422^{Aa}	22.364 ± 1.352^{Aa}
	10	22.929 ± 0.811 ^{Aa}	22.555 ± 0.829 ^{Ab}	22.728 ± 0.911 ^{Aa}	22.701 ± 1.337 ^{Aa}	22.837 ± 1.078 ^{Aa}
	20	22.686 ± 1.032 ^{Aa}	22.922 ± 1.055 ^{Aab}	22.531 ± 0.603 ^{Aa}	22.845 ± 0.778 ^{Aa}	22.965 ± 1.016 ^{Aa}
	30	22.546 ± 0.876 ^{Ca}	23.762 ± 0.717 ^{Aa}	23.542 ± 0.871 ^{ABa}	22.604 ± 0.548 ^{BCa}	22.378 ± 0.854^{Ca}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.



Şekil 3.18. Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları

3.4.3.1. Model Toz Çorba Ürününde Karıştırma ve Ayırışma İndeksleri

Toz çorba model ürününde karıştırma ve ayırışma indeksi değerleri ki-kare istatistiğine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yapılan karışımlardan elde edilen veriler ve beklenen reçete miktarları kullanılarak belirlenen X^2 değerleri Tablo 3.37’de verilmiştir. Toz çorba ürününün de 3 bileşenli olması, incelenen örnek miktarının 100 g ve incelenen örnek sayısının her bir karışım noktasında 10 olması sebebiyle X_r^2 değeri 20, X_o^2 değeri de 2000 olarak ele alınmıştır. X^2 değerinin X_r^2 değerine ulaşması karışımın homojen bir yapı kazandığını ifade etmektedir. Mikserin tüm doluluk oranı ve karışım süreleri için X^2 değeri X_r^2 değerinin oldukça altında tespit edilmiştir. Dolayısı ile tüm deneysel karışım noktaları X^2 yönünden homojen karışımın sağlandığını göstermiştir. X_r^2 değerinin altındaki X^2 değerleri negatif ayırışma indeksi hesaplanmasına neden olmuştur. Tablo 3.37’de verilen X^2 değerleri kullanılarak karıştırma ve ayırışma indeksleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3.38 – 3.39’da yer almıştır. Bu değerlerin zamana bağlı grafikleri de Şekil 3.19 ve 3.20’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde karıştırma ve ayırışma indeksi değerlerinin birbirleriyle zıt yönlü benzer eğilimler gösterdiği anlaşılmıştır.

Tablo 3.37. Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri

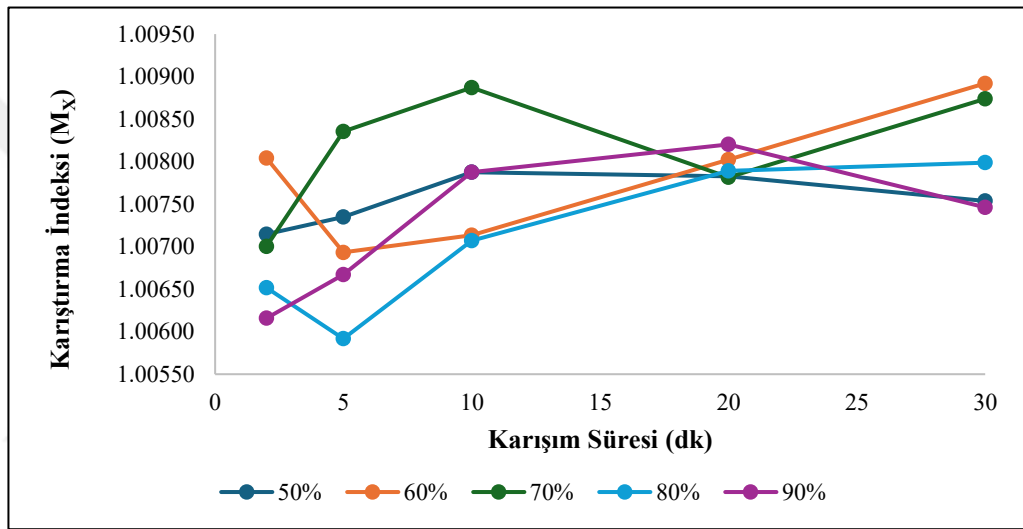
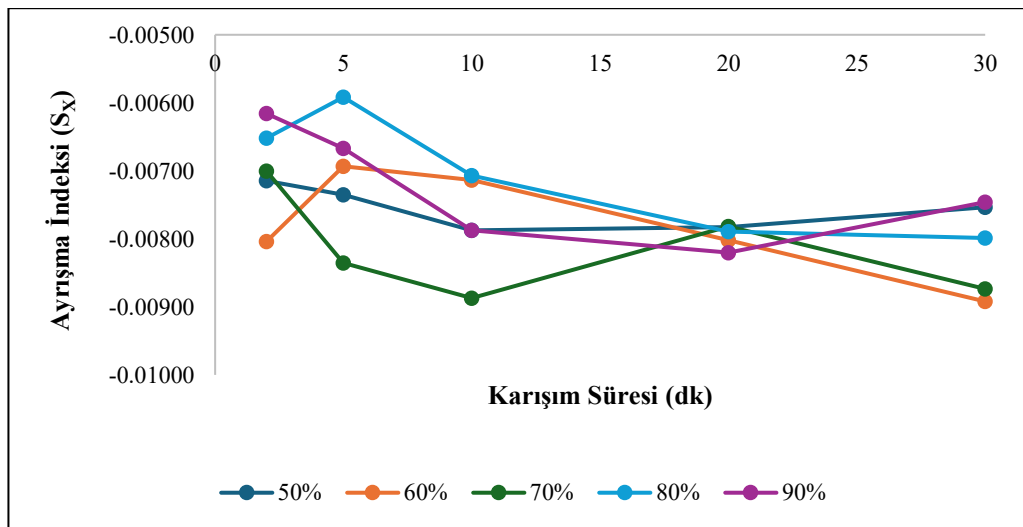
Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	5.8482	4.0797	6.1339	7.0938	7.8068
5	5.4456	6.2725	3.4585	8.2835	6.7919
10	4.4073	5.8704	2.4353	6.0022	4.4057
20	4.5055	4.1178	4.5210	4.3724	3.7596
30	5.0756	2.3372	2.6987	4.1842	5.2257

Tablo 3.38. Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	1.00715	1.00804	1.00700	1.00652	1.00616
5	1.00735	1.00693	1.00835	1.00592	1.00667
10	1.00788	1.00714	1.00887	1.00707	1.00788
20	1.00783	1.00802	1.00782	1.00789	1.00820
30	1.00754	1.00892	1.00874	1.00799	1.00746

Tablo 3.39. Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	-0.00715	-0.00804	-0.00700	-0.00652	-0.00616
5	-0.00735	-0.00693	-0.00835	-0.00592	-0.00667
10	-0.00788	-0.00714	-0.00887	-0.00707	-0.00788
20	-0.00783	-0.00802	-0.00782	-0.00789	-0.00820
30	-0.00754	-0.00892	-0.00874	-0.00799	-0.00746

Şekil 3.19. Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleriŞekil 3.20. Model Toz Çorba ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri

3.4.3.2. Model Toz Çorba Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

3.4.3.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon

Toz çorba model ürünü için oluşturulan Taguchi L_{25} ortogonal Deneysel Tasarım yönteminden elde edilen her bir bileşene ait ortalama miktarlar (%) ve % CV değerleri için hesaplanan S/N oranları Tablo 3.40'ta ve Şekil 3.21 ile 3.22'de gösterilmiştir. S/N oranlarının tespit edilmesinde toz sütlaç ürünüde olduğu gibi bileşenlerin ortalama miktarları “hedef değer – en iyi”; % CV değerleri ise “en küçük – en iyi” prensibine göre değerlendirilmiştir. Hesaplanan S/N oranlarının en büyük değeri uygulanan prensipten bağımsız olarak hedeflenen durumu göstermektedir. Taguchi yönteminde S/N oranlarının en yüksek değerlerini belirleyen karışım süresi ve mikser doluluk oranları Tablo 3.41'de belirtilmiştir.

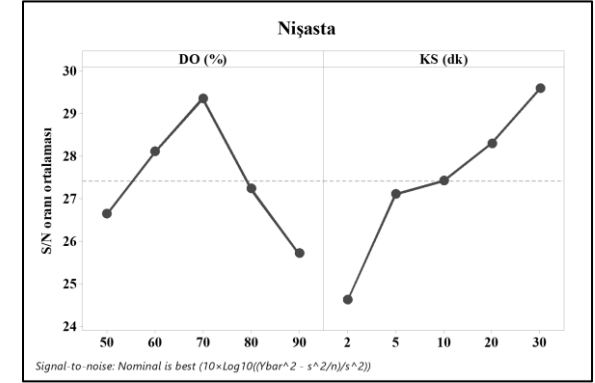
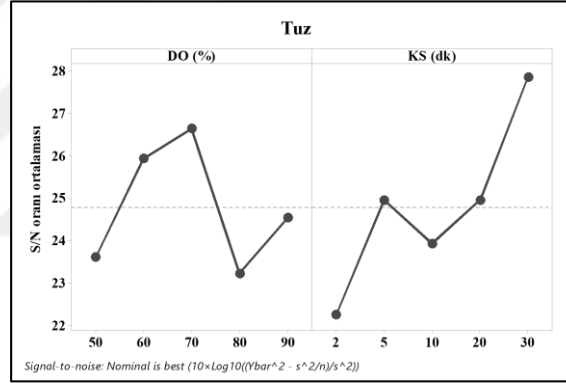
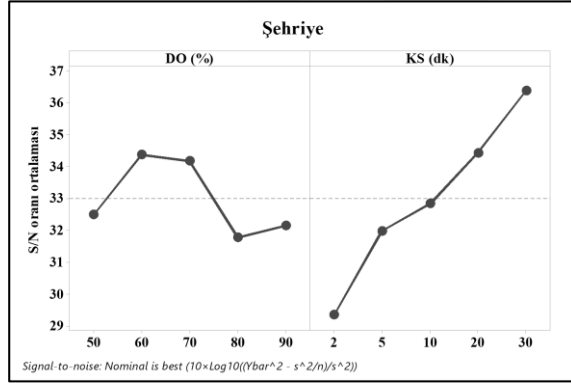
Tablo 3.41'de yer alan değerler incelendiğinde bileşenlerin ortalama miktarları içinde DO faktörü için en büyük katkı %42.33 ile nişasta tarafından, KS faktörü için %73.02 katkı ile şehriye tarafından meydana gelmiştir. Dolayısı ile ortalama miktarlar için optimum noktalar %70 doluluk ve 30 dk karışım süresi olmuştur. Bileşenlerin CV değerleri için de benzer hesaplamalar yapılmış ve karışımın optimum noktası %70 doluluk oranında 30 dakikalık karışımı göstermiştir. S/N oranlarının en yüksek değerleri hem ortalama miktarlar hem de %CV değerleri için aynı nokta olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu seviyeler Taguchi metodunun genel optimum seviyeleri olarak değerlendirilmiştir.

Tablo. 3.40. Model Toz Çorba ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları

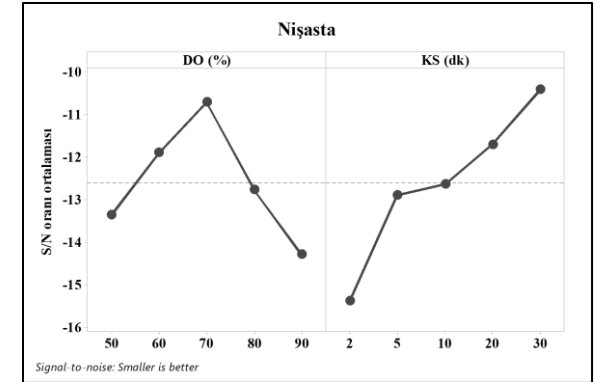
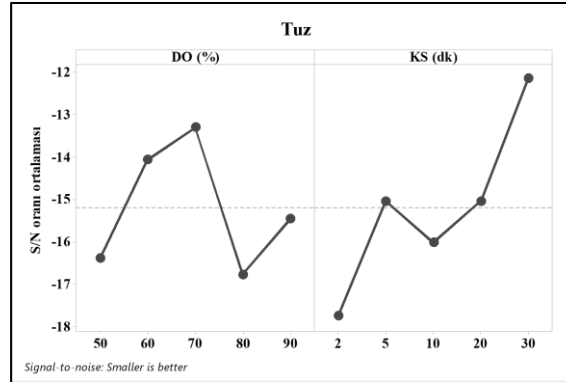
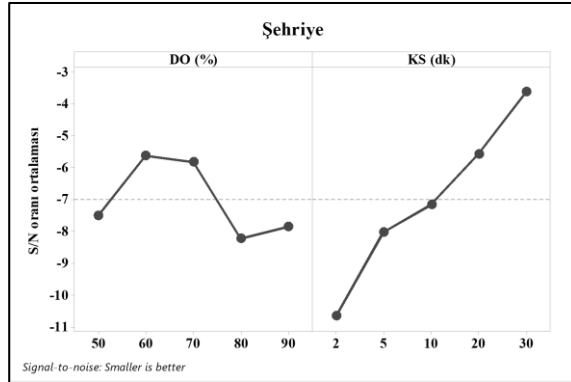
Faktör/Seviye		Deneysel Sonuçlar						Taguchi S/N oranı					
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar (%)			CV (%)			Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
		Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
50	2	60.989	16.253	22.758	3.653	6.753	7.886	28.747	23.410	22.063	-11.253	-16.590	-17.937
50	5	60.958	16.490	22.552	2.659	6.357	4.436	31.505	23.935	27.060	-8.495	-16.065	-12.940
50	10	60.634	16.436	22.929	2.116	6.879	3.536	33.492	23.250	29.030	-6.508	-16.750	-10.970
50	20	60.969	16.346	22.686	1.974	4.987	4.549	34.095	26.043	26.841	-5.905	-13.957	-13.159
50	30	61.387	16.067	22.546	1.865	8.476	3.887	34.586	21.436	28.207	-5.414	-18.564	-11.793
60	2	60.438	16.439	23.122	2.456	5.884	4.349	32.195	24.606	27.231	-7.805	-15.394	-12.769
60	5	61.186	16.719	22.095	1.766	3.456	4.246	35.062	29.230	27.440	-4.938	-10.770	-12.560
60	10	60.534	16.911	22.555	1.888	5.673	3.677	34.479	24.924	28.691	-5.521	-15.076	-11.309
60	20	60.707	16.371	22.922	1.818	5.414	4.602	34.807	25.330	26.740	-5.193	-14.670	-13.260
60	30	60.048	16.189	23.762	1.716	5.270	3.017	35.310	25.565	30.408	-4.690	-14.435	-9.592
70	2	60.617	16.760	22.623	2.946	6.755	5.196	30.615	23.408	25.686	-9.385	-16.592	-14.314
70	5	60.463	16.467	23.069	1.621	3.920	2.314	35.804	28.134	32.713	-4.196	-11.866	-7.287
70	10	60.939	16.333	22.728	1.554	6.137	4.008	36.118	23.988	28.249	-3.832	-15.759	-12.059
70	20	61.260	16.209	22.531	2.106	5.419	2.674	33.531	25.321	31.456	-6.469	-14.679	-8.544
70	30	60.062	16.396	23.542	1.833	2.418	3.700	34.735	32.332	28.637	-5.265	-7.668	-11.363
80	2	61.863	16.047	22.089	3.444	9.056	5.047	29.259	20.862	25.939	-10.741	-19.138	-14.061
80	5	60.811	16.750	22.439	4.718	9.583	6.338	26.524	20.370	23.962	-13.476	-19.630	-16.038
80	10	60.956	16.343	22.701	3.922	8.030	5.887	28.129	21.906	24.601	-11.871	-18.094	-15.399
80	20	60.789	16.366	22.845	1.398	7.232	3.405	37.091	22.815	29.357	-2.909	-17.185	-10.643
80	30	60.956	16.440	22.604	1.276	3.089	2.424	37.883	30.204	32.308	-2.117	-9.796	-7.692
90	2	61.272	16.102	22.626	5.034	11.162	7.755	25.961	19.045	22.209	-14.039	-20.955	-17.791
90	5	60.927	16.709	22.364	2.818	7.002	6.044	31.001	23.096	24.373	-8.999	-16.904	-15.627
90	10	60.818	16.345	22.837	2.538	5.242	4.721	31.911	25.610	26.520	-8.089	-14.390	-13.480
90	20	60.925	16.109	22.965	2.349	5.446	4.424	32.583	25.278	27.084	-7.417	-14.722	-12.916
90	30	60.975	16.647	22.378	1.085	3.297	3.816	39.294	29.638	28.367	-0.706	-10.362	-11.633

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen optimum noktayı göstermektedir.



Şekil 3.21. Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları



Şekil 3.22. Model Toz Çorba ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları

Tablo 3.41. Model Toz Çorba ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları

a) Ortalama Miktar (%) için S/N oranları b) % CV için S/N oranları

a)	Şehriye		Tuz		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	32.48	29.35	23.61	22.26	26.64	24.62
2	34.37	31.98	25.93	24.95	28.1	27.11
3	34.16	32.83	26.64	23.93	29.35	27.42
4	31.78	34.42	23.23	24.96	27.23	28.3
5	32.15	36.36	24.53	27.83	25.71	29.58
Fark	2.59	7.01	3.41	5.57	3.64	4.96
Sıra	2	1	2	1	2	1
% Katkı	26.98	73.02	37.97	62.03	42.33	57.67

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

b)	Şehriye		Tuz		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	-7.52	-10.64	-16.39	-17.73	-13.36	-15.37
2	-5.63	-8.02	-14.07	-15.05	-11.9	-12.89
3	-5.83	-7.16	-13.31	-16.01	-10.71	-12.64
4	-8.22	-5.58	-16.77	-15.04	-12.77	-11.7
5	-7.85	-3.64	-15.47	-12.16	-14.29	-10.41
Fark	2.59	7.01	3.46	5.57	3.58	4.96
Sıra	2	1	2	1	2	1
% Katkı	27.01	72.99	38.32	61.68	41.92	58.08

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

Genel optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen en yüksek S/N oranını göstermektedir.

3.4.3.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Taguchi metodu ile kriterlerin ağırlıklandırılmasında Tablo 3.41’de yer alan değerler dikkate alınmıştır. Her bir bileşen için ortalama miktar ve CV değerlerine ait Delta (fark) değerleri mikserin doluluk oranları ve karışım sürelerine ait Delta değerlerinin toplanması ile hesaplanmıştır. Ardından tüm Delta değerleri toplanarak toplam Delta tespit edilmiştir. Kriterlerin katkıları delta değerlerinin toplam deltaya oranlanması ile bulunmuş ve kriter

ağırlıkları % olarak ifade edilmiştir (Tablo 3.42). Tablodaki veriler kriter katkılarının birbirine yakın olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.42. Model Toz Çorba ürününe Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
Delta	9.60	8.98	8.60	9.60	9.03	8.54
% Katkı	17.66	16.52	15.82	17.66	16.61	15.71
Ağırlık (W_i)	0.18	0.17	0.16	0.18	0.17	0.16

GİA yönteminin uygulanmasında öncelikle veriler normalize edilmiştir. Ortalama miktarlar için “hedef değer – en iyi”; CV değerleri için “en küçük – en iyi” prensibine uygun olarak veriler normalleştirilmiştir. Ardından uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Normalize veriler matrisi, uzaklık matrisi ve GİK değerleri Tablo 3.43’te listelenmiştir. GİK hesaplamasında ayırım katsayısı (ϕ) 0.5 olarak kullanılmıştır.

GİD’nin hesaplanmasında GİK değerleri hem ağırlıksız hem de kriter ağırlıkları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. GID_0 kriterlerin herhangi bir ağırlık katsayısı olmadan, GID_T ise Taguchi metoduyla elde edilen kriter ağırlıkları ile hesaplanmıştır (Tablo 3.44). En yüksek GİD değerine sahip nokta hem ağırlıksız hem de Taguchi ağırlıklı yöntemde %60 doluluk oranında 30 dakikalık karışım sonucu elde edilmiştir ve 0.839 değerini almıştır.

Tablo 3.43. Model Toz Çorba ürünü için oluşturulan GİA değerleri

Faktör/Seviye		Normalize Veriler						Uzaklık Matrisi						Gri İlişki Katsayısı (GİK)					
		Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV		
DO (%)	KS (dk)	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
50	2	0.469	0.344	0.230	0.350	0.504	0.000	0.505	0.108	0.345	0.650	0.496	1.000	0.498	0.823	0.592	0.435	0.502	0.333
50	5	0.486	0.220	0.159	0.601	0.549	0.619	0.488	0.232	0.416	0.399	0.451	0.381	0.506	0.683	0.546	0.556	0.526	0.568
50	10	0.660	0.249	0.289	0.739	0.490	0.781	0.315	0.204	0.286	0.261	0.510	0.219	0.614	0.711	0.636	0.657	0.495	0.695
50	20	0.480	0.296	0.205	0.775	0.706	0.599	0.494	0.156	0.370	0.225	0.294	0.401	0.503	0.762	0.575	0.690	0.630	0.555
50	30	0.256	0.441	0.157	0.802	0.307	0.718	0.718	0.011	0.418	0.198	0.693	0.282	0.410	0.979	0.545	0.717	0.419	0.639
60	2	0.765	0.247	0.355	0.653	0.604	0.635	0.209	0.205	0.220	0.347	0.396	0.365	0.705	0.709	0.695	0.590	0.558	0.578
60	5	0.363	0.101	0.002	0.828	0.881	0.653	0.611	0.352	0.573	0.172	0.119	0.347	0.450	0.587	0.466	0.744	0.808	0.590
60	10	0.713	0.000	0.160	0.797	0.628	0.755	0.261	0.452	0.415	0.203	0.372	0.245	0.657	0.525	0.546	0.711	0.573	0.672
60	20	0.621	0.283	0.286	0.814	0.657	0.589	0.354	0.169	0.289	0.186	0.343	0.411	0.586	0.747	0.634	0.729	0.593	0.549
60	30	0.974	0.378	0.575	0.840	0.674	0.874	0.000	0.074	0.000	0.160	0.326	0.126	1.000	0.870	1.000	0.758	0.605	0.798
70	2	0.669	0.079	0.183	0.529	0.504	0.483	0.305	0.373	0.392	0.471	0.496	0.517	0.621	0.573	0.561	0.515	0.502	0.492
70	5	0.751	0.232	0.337	0.864	0.828	1.000	0.223	0.220	0.238	0.136	0.172	0.000	0.692	0.695	0.677	0.786	0.744	1.000
70	10	0.496	0.303	0.220	0.881	0.575	0.696	0.478	0.150	0.355	0.119	0.425	0.304	0.511	0.770	0.585	0.808	0.540	0.622
70	20	0.324	0.367	0.152	0.741	0.657	0.935	0.650	0.085	0.423	0.259	0.343	0.065	0.435	0.855	0.542	0.659	0.593	0.885
70	30	0.967	0.270	0.499	0.810	1.000	0.751	0.007	0.182	0.076	0.190	0.000	0.249	0.986	0.733	0.869	0.725	1.000	0.668
80	2	0.000	0.452	0.000	0.403	0.241	0.509	0.974	0.000	0.575	0.597	0.759	0.491	0.339	1.000	0.465	0.456	0.397	0.505
80	5	0.565	0.084	0.120	0.080	0.181	0.278	0.409	0.368	0.455	0.920	0.819	0.722	0.550	0.576	0.524	0.352	0.379	0.409
80	10	0.487	0.297	0.210	0.282	0.358	0.359	0.487	0.155	0.365	0.718	0.642	0.641	0.507	0.764	0.578	0.410	0.438	0.438
80	20	0.577	0.285	0.260	0.921	0.449	0.804	0.398	0.167	0.315	0.079	0.551	0.196	0.557	0.750	0.613	0.863	0.476	0.718
80	30	0.487	0.247	0.177	0.952	0.923	0.980	0.487	0.205	0.398	0.048	0.077	0.020	0.506	0.709	0.557	0.912	0.867	0.962
90	2	0.317	0.424	0.184	0.000	0.000	0.024	0.657	0.028	0.390	1.000	1.000	0.976	0.432	0.946	0.562	0.333	0.333	0.339
90	5	0.503	0.106	0.094	0.561	0.476	0.331	0.471	0.347	0.480	0.439	0.524	0.669	0.515	0.591	0.510	0.533	0.488	0.428
90	10	0.561	0.296	0.257	0.632	0.677	0.568	0.413	0.156	0.318	0.368	0.323	0.432	0.548	0.762	0.611	0.576	0.608	0.537
90	20	0.504	0.419	0.301	0.680	0.654	0.621	0.471	0.033	0.274	0.320	0.346	0.379	0.515	0.939	0.646	0.610	0.591	0.569
90	30	0.477	0.138	0.099	1.000	0.899	0.730	0.498	0.314	0.476	0.000	0.101	0.270	0.501	0.614	0.512	1.000	0.833	0.650

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.44. Model Toz Çorba ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması

Faktör/Seviye		GİD ₀	Sıra	GİD _T	Sıra	GİD _E	Sıra
DO(%)	KS(dk)						
50	2	0.530	20	0.530	20	0.430	22
50	5	0.564	18	0.563	18	0.550	18
50	10	0.635	12	0.634	12	0.617	13
50	20	0.619	13	0.619	13	0.636	12
50	30	0.618	14	0.617	14	0.605	14
60	2	0.639	11	0.639	11	0.577	16
60	5	0.608	16	0.609	16	0.724	5
60	10	0.614	15	0.616	15	0.658	10
60	20	0.640	9	0.641	9	0.641	11
60	30	0.839	1	0.839	1	0.721	6
70	2	0.544	19	0.545	19	0.505	19
70	5	0.766	3	0.764	3	0.828	3
70	10	0.639	10	0.640	10	0.677	9
70	20	0.661	7	0.658	7	0.697	8
70	30	0.830	2	0.832	2	0.795	4
80	2	0.527	21	0.525	21	0.451	21
80	5	0.465	25	0.465	25	0.375	24
80	10	0.522	22	0.521	22	0.426	23
80	20	0.663	6	0.664	6	0.706	7
80	30	0.752	4	0.751	4	0.910	1
90	2	0.491	24	0.489	24	0.335	25
90	5	0.511	23	0.512	23	0.492	20
90	10	0.607	17	0.606	17	0.576	17
90	20	0.645	8	0.644	8	0.594	15
90	30	0.685	5	0.688	5	0.857	2

DO: Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi, GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi,

GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi

Koyu karakterdeki değerler farklı yöntemlerle belirlenen en iyi karışım noktalarını belirtmektedir.

Yöntemin sonraki aşamasında optimum koşulları belirlemek amacıyla faktör ve seviyelerin yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem için örneğin %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD₀ (%50) için yeni değer: $(0.530 + 0.564 + 0.635 + 0.619 + 0.618) / 5 = 0.593$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak hesaplanmıştır [GİD₀ (2 dk) için yeni değer: $(0.530 + 0.639 + 0.544 + 0.527 + 0.491) / 5 = 0.546$]. Diğer karışım

süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerlerin yer aldığı tablolar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.45 – 3.46).

Tablo 3.45. Model Toz Çorba ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.593	0.668	0.688	0.586	0.588	0.102	2
KS (dk)	0.546	0.583	0.603	0.646	0.745	0.199	1
Ortalama	0.625						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

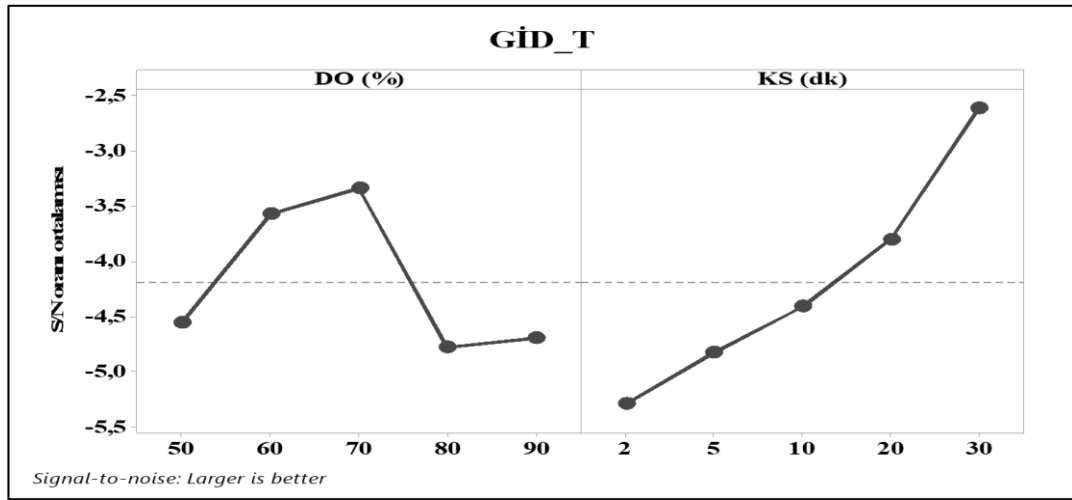
GİA yönteminde elde edilen GID_T değerlerinin S/N oranı değerleri Şekil 3.23'te gösterilmiştir. GID_T grafiği incelendiğinde DO faktörünün 3. ve KS faktörünün 5.seviyesinin en yüksek S/N oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 3.46'daki bilgileri doğrulamış ve optimum faktör seviyeleri olarak saptanmıştır.

Tablo 3.46. Model Toz Çorba ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.593	0.669	0.688	0.585	0.588	0.103	2
KS (dk)	0.545	0.582	0.603	0.645	0.745	0.200	1
Ortalama	0.624						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.



Şekil 3.23. Model Toz Çorba ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD_T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.47 ile 3.48’de gösterilmiştir. Ağırlıksız GİD değerlerine ait varyans tablosu incelendiğinde hem DO hem KS faktörlerinin etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Faktörlerin modele olan etkileri göz önüne alındığında yaklaşık %51 katkı ile KS faktörünün daha önemli olduğu ve Tablo 3.45’te yer alan sıralamayla uyum içinde bulunduğu belirlenmiştir. Taguchi ağırlıklı GİA yönteminden elde edilen GİD değerlerine ait analiz sonuçlarında da ağırlıksız GİA sonuçlarına yakın etkiler saptanmıştır.

Tablo. 3.47. Model Toz Çorba ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD₀ değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.04869	0.012171	3.09	0.046	21.35
KS (dk)	4	0.11623	0.029057	7.37	0.001	50.98
Hata	16	0.06308	0.003942			27.67
Toplam	24	0.22799				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo. 3.48. Model Toz Çorba ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_T değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.04923	0.012308	3.15	0.044	21.48
KS (dk)	4	0.11736	0.029339	7.50	0.001	51.21
Hata	16	0.06256	0.003910			27.30
Toplam	24	0.22915				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **DO:** Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında belirlenen genel optimum karışım faktörleri ve seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Bu amaçla Denklem 38'den faydalanılmıştır. Ağırlıksız GİD₀ değerinin optimum noktası olan %70 doluluk ve 30 dakikalık karışım süresi için belirlenen GİD değeri 0.830 olmuştur. $[GİD_0 = 0.625 + (0.688 - 0.625) + (0.745 - 0.625) = 0.808]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz çorba ürünü için %70 doluluk ve 30 dakikalık karışımında elde edilen GİD₀ değeri 0.830 olarak belirlenmiştir. Tahmini ve deneysel verilerin birbiriyle uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Taguchi ağırlıklı GİD değerinin optimum seviyeleri de aynı olduğundan %70 doluluk oranı ve 30 dk karışım süresi için tahminlenen değeri 0.809 olmuştur $[GİD_T = 0.624 + (0.688 - 0.624) + (0.745 - 0.624) = 0.809]$. Deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanan optimum noktaya ait GİD_T değeri 0.832 olarak saptanmış ve tahminlenen değere yakın bulunmuştur.

3.4.3.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Entropi yönteminin ilk aşaması olan veri normalizasyonu yöntem bölümünde anlatılan denklemler aracılığıyla hesaplanmış ve Tablo 3.49'da sunulmuştur. Entropi (e_j) değerlerinin hesaplanmasında k sabiti $1/\ln(m)$ formülü ile belirlenmiş ve m değeri alternatif sayısını belirtecek şekilde deney sayısı olan 25 olarak seçilmiştir. Entropi değerleri (e_j) ve farklılaşma dereceleri (d_j) Tablo 3.50'de listelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek kriter ağırlığı %43.19'lık katkısı ile şehriye bileşeninin CV

değerine ait olmuştur. Tuz bileşeninin CV değerine ait katkı da %30.88 olup oldukça yüksek tespit edilmiştir.

Tablo 3.49. Model Toz Çorba ürünüde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler					
		Ortalama Miktar			CV		
		Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
DO (%)	KS (dk)						
50	2	0.0401	0.0396	0.0400	0.0603	0.0442	0.0704
50	5	0.0401	0.0402	0.0397	0.0439	0.0416	0.0396
50	10	0.0399	0.0401	0.0403	0.0349	0.0450	0.0316
50	20	0.0401	0.0398	0.0399	0.0326	0.0326	0.0406
50	30	0.0403	0.0392	0.0397	0.0308	0.0554	0.0347
60	2	0.0397	0.0401	0.0407	0.0406	0.0385	0.0389
60	5	0.0402	0.0408	0.0389	0.0292	0.0226	0.0379
60	10	0.0398	0.0412	0.0397	0.0312	0.0371	0.0328
60	20	0.0399	0.0399	0.0403	0.0300	0.0354	0.0411
60	30	0.0395	0.0395	0.0418	0.0283	0.0345	0.0270
70	2	0.0398	0.0409	0.0398	0.0487	0.0442	0.0464
70	5	0.0397	0.0401	0.0406	0.0268	0.0256	0.0207
70	10	0.0401	0.0398	0.0400	0.0257	0.0401	0.0358
70	20	0.0403	0.0395	0.0396	0.0348	0.0354	0.0239
70	30	0.0395	0.0400	0.0414	0.0303	0.0158	0.0331
80	2	0.0407	0.0391	0.0389	0.0569	0.0592	0.0451
80	5	0.0400	0.0408	0.0395	0.0779	0.0627	0.0566
80	10	0.0401	0.0398	0.0399	0.0648	0.0525	0.0526
80	20	0.0400	0.0399	0.0402	0.0231	0.0473	0.0304
80	30	0.0401	0.0401	0.0398	0.0211	0.0202	0.0217
90	2	0.0403	0.0392	0.0398	0.0831	0.0730	0.0693
90	5	0.0400	0.0407	0.0394	0.0465	0.0458	0.0540
90	10	0.0400	0.0398	0.0402	0.0419	0.0343	0.0422
90	20	0.0400	0.0393	0.0404	0.0388	0.0356	0.0395
90	30	0.0401	0.0406	0.0394	0.0179	0.0216	0.0341

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.50. Model Toz Çorba ürünüde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar			CV		
	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
Entropi (e_j)	0.99999	0.99997	0.99996	0.97515	0.98224	0.98517
Farklılaşma derecesi (d_j)	0.00001	0.00003	0.00004	0.02485	0.01776	0.01483
Ağırlık (w_j)	0.00011	0.00053	0.00073	0.43199	0.30884	0.25781

Belirlenen kriter ağırlıkları GİD hesaplamasında kullanılmıştır. Tablo 3.43'te yer alan GİK değerleri her bir bileşene ait kriter ağırlığı ile çarpılarak toplanmıştır. Elde edilen GİD_E değerleri ve en yüksek değerden başlanarak yapılan sıralama Tablo 3.44'te yer almıştır. Hesaplanan veriler incelendiğinde en yüksek GİD_E değeri 0.910 ile %80 doluluk ve 30 dakikalık karışım sonucu elde edilmiştir.

Optimum karışım faktörlerini ve seviyelerini belirlemek amacıyla yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem için %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri kaydedilmiştir. [GİD_E (%50) için yeni değer: $(0.430 + 0.550 + 0.617 + 0.636 + 0.605) / 5 = 0.568$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD_E (2 dk) için yeni değer: $(0.430 + 0.577 + 0.505 + 0.451 + 0.335) / 5 = 0.459$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerler Tablo 3.51'de yer almıştır. Bulgular mikserin doluluk oranı için 3. ve karışım süresi için 5.seviyenin optimum olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.51. Model Toz Çorba ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD_E değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.568	0.664	0.701	0.574	0.571	0.133	2
KS (dk)	0.459	0.594	0.591	0.655	0.778	0.318	1
Ortalama	0.615						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.52'de gösterilmiştir. Tablodaki veriler ışığında mikserin doluluk oranının GİD değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) iken karışım

süresinin etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerden karışım süresinin modele olan katkısı yaklaşık %50 civarında olmuştur.

Tablo. 3.52. Model Toz Çorba ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_E değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.07827	0.01957	1.63	0.215	14.58
KS (dk)	4	0.26661	0.06665	5.56	0.005	49.67
Hata	16	0.19189	0.01199			35.75
Toplam	24	0.53676				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **DO:** Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında genel optimum karışım seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. GİD_E değeri, optimum nokta olarak belirlenen %70 doluluk ve 30 dakikalık karışım süresi için 0.863 olarak hesaplanmıştır. $[GİD_E = 0.615 + (0.701 - 0.615) + (0.778 - 0.615) = 0.863]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz çorba ürünü için %70 doluluk ve 30 dakikalık karışım elde edilen GİD_E değeri 0.795 olarak belirlenmiş ve tahmini değer altında tespit edilmiştir.

Model toz çorba ürünüde belirlenen optimum karışım noktaları ve bu noktalardaki deneysel sonuçlara ait veriler Tablo 3.53'te özetlenmiştir. Kullanılan farklı yöntemlerin hepsi aynı faktör seviyelerini işaret etmiş ve tespit edilen optimum koşullarda elde edilen deneysel verilerin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.53. Model Toz Çorba ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Yöntem	Optimum Faktör/Seviye		Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	DO (%)	KS (dk)	Şehriye	Tuz	Nişasta	Şehriye	Tuz	Nişasta
Taguchi	70	30	60.062	16.396	23.542	1.833	2.418	3.700
GİA (ağırlıksız)								
Taguchi Ağırlıklı GİA								
Entropi Ağırlıklı GİA								

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

3.4.4. Model Toz Puding Ürün Karışımı Analizi

Toz puding model ürünü kuru sarı üzüm, şeker ve nişasta bileşenleri kullanılarak reçete değerleri doğrultusunda hazırlanmıştır. Ürünlerin mikser içerisinde kaplayacağı hacim dökme yığın yoğunluğu değerleri esas alınarak hesaplanmıştır. Ürün bileşenlerine ait bazı fiziksel özellikler Tablo 3.54’te yer almıştır.

Tablo 3.54. Model Toz Puding ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Parametre	Meyve (Sarı üzüm)	Şeker	Nişasta
Ortalama partikül boyutu, d ₅₀ (mm)	9.833	0.594	0.039
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm ³)	0.213	0.898	0.488

Model toz puding ürününde karışım süresi ve mikser doluluk oranının 5’er seviyeli [KS (dk): 2, 5, 10, 20, 30 ve DO (%): 50, 60, 70, 80, 90] tam faktöriyel deneme deseninden elde edilen verileri Tablo 3.55’te sunulmuştur. Bileşenlerin ortalama miktarlarına karışım süresi ve mikserin doluluk oranının etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelerde meyve

bileşeni için doluluk oranının ortalama miktar üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$), ancak süre ve süre*doluluk etkileşimi istatistiksel olarak anlamsız ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Şeker ve nişasta bileşenleri için ise kriterlerin ve etkileşiminin ortalama miktarlar üzerinde etkisi istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.05$) farklar meydana getirmiştir.

Homojen karışımın sağlanmasında bileşenlerin ortalama miktarlarının hedeflenen reçete değerlerine ulaşmasında en fazla %10'luk sapma kabul edilmektedir. Bu nedenle meyve miktarında hedeflenen değer $15\pm\%10$, şeker için $55\pm\%10$ ve nişasta için $30\pm\%10$ değeridir. Bu sapma değerleri göz önüne alındığında ortalama değerler üzüm için 13.5–16.5 g/100 g örnek, şeker için 49.5–60.5 g/100 g örnek ve nişasta için 27–33 g/100 g örnek arasında değişmektedir. Tablo 3.56'da verilen değerlere göre tüm puding bileşenleri içinde meyve için %90 doluluk ve 2 dakikalık karışım sonucunda elde edilen ortalama miktar değeri %17.494 ile kabul sınırı dışında kalmıştır.

% CV değerleri homojen karışımın sağlanmasında diğer bir kriter olarak benimsenmiştir. Toz puding ürünüde CV değerlerinin zamanla değişim grafikleri her bir bileşen için Şekil 3.24'te görselleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda CV değerleri %50, 80 ve 90 doluluk oranında 2 ve 5 dakika, %70 dolulukta ise 2 dakikalık karışımlarda %10 kritik değerinin üzerinde tespit edilmiştir. Sonuçta hedeflenen ortalama miktarlar ve CV değerleri birlikte incelendiğinde %50, 80 ve 90 doluluk oranında 10 dakika, %60 dolulukta 2 dakika ve %70 dolulukta 5 dakikalık karışımlar homojen karışımın sağlandığı en düşük karışım süreleri olarak belirlenmiştir.

3.4.4.1. Model Toz Puding Ürünüde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri

Model toz puding ürününün karıştırma ve ayrışma indeksi değerleri ki-kare istatistiğine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yapılan karışımlardan elde edilen veriler ve beklenen reçete miktarları kullanılarak belirlenen X^2 değerleri Tablo 3.56'da verilmiştir. Model toz puding ürününün 3 bileşenli olması, incelenen örnek miktarının 100g ve incelenen örnek sayısının her bir karışım noktasında 10 olması sebebiyle X_r^2 değeri 20, X_0^2 değeri de 2000 ($100*20$) olarak ele alınmıştır. Homojen olarak karışmış bir üründe X^2 değerinin X_r^2 değerine ulaşması beklenmektedir. Mikserin tüm doluluk oranı ve karışım süreleri için X^2 değeri X_r^2 değerinin oldukça altında tespit edilmiştir. Dolayısı ile tüm deneysel karışım noktaları X^2 yönünden homojen karışımın sağlandığını göstermiştir. Tablo 3.56'da verilen

χ^2 değerleri kullanılarak hesaplanan karıştırma ve ayrıştırma indeksleri Tablo 3.57 – 3.58’de yer almıştır. Bu değerlerin zamana bağlı grafikleri de Şekil 3.25 ve 3.26’da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde karıştırma ve ayrıştırma indeksi değerlerinin birbirleriyle zıt yönlü benzer eğilimler gösterdiği anlaşılmıştır.



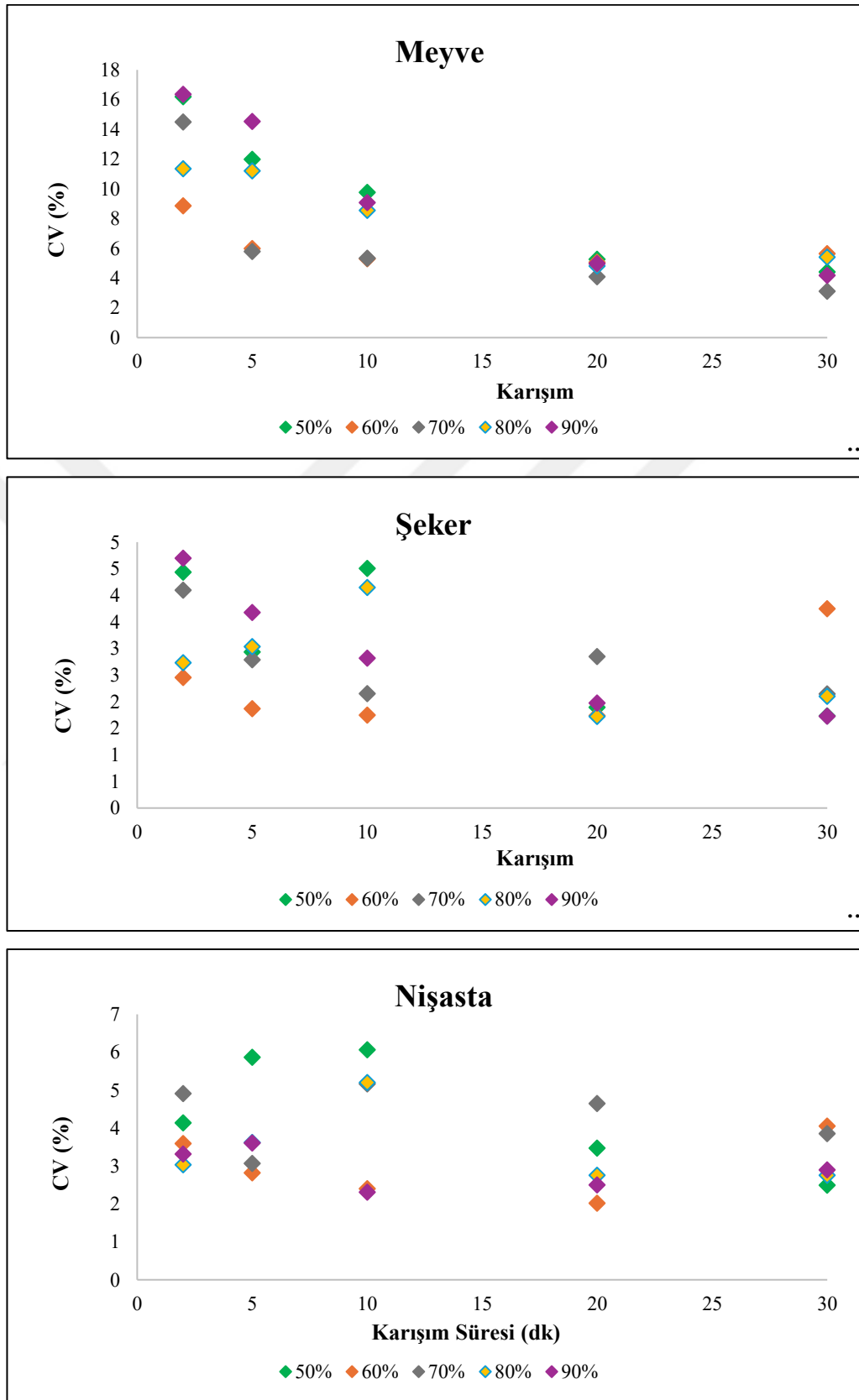
Tablo 3.55. Model Toz Puding ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri

Bileşen	Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
		50	60	70	80	90
Meyve	2	16.180 ± 2.622 ^{ABa}	14.508 ± 1.286 ^{Ba}	14.204 ± 2.059 ^{Ba}	15.350 ± 1.745 ^{ABa}	17.494 ± 2.861 ^{Ba}
	5	14.952 ± 1.792 ^{Aa}	15.141 ± 0.906 ^{Aa}	15.207 ± 0.880 ^{Aa}	14.737 ± 1.652 ^{Aa}	16.475 ± 2.394 ^{Aa}
	10	15.878 ± 1.551 ^{ABa}	15.115 ± 0.803 ^{ABa}	15.546 ± 0.831 ^{Ba}	14.997 ± 1.284 ^{ABa}	16.438 ± 1.493 ^{Aa}
	20	15.129 ± 0.797 ^{Aa}	15.443 ± 0.783 ^{Aa}	15.185 ± 0.623 ^{Aa}	15.245 ± 0.732 ^{Aa}	15.356 ± 0.765 ^{Aa}
	30	15.232 ± 0.672 ^{Aa}	15.711 ± 0.888 ^{Aa}	14.962 ± 0.468 ^{Aa}	15.341 ± 0.830 ^{Aa}	15.646 ± 0.655 ^{Aa}
Şeker	2	54.535 ± 2.419 ^{Aa}	56.511 ± 1.385 ^{Aa}	55.596 ± 2.277 ^{Aa}	55.108 ± 1.504 ^{Aa}	54.750 ± 2.571 ^{Aa}
	5	56.396 ± 1.654 ^{Aa}	56.534 ± 1.055 ^{Aa}	55.254 ± 1.538 ^{Aab}	56.583 ± 1.717 ^{Aa}	54.791 ± 2.014 ^{Aa}
	10	54.628 ± 2.460 ^{ABCa}	55.942 ± 0.977 ^{ABa}	55.243 ± 1.188 ^{Cb}	56.922 ± 2.360 ^{Aa}	54.143 ± 1.524 ^{BCa}
	20	55.866 ± 1.056 ^{Aa}	55.082 ± 0.956 ^{Aab}	55.283 ± 1.574 ^{Aab}	55.135 ± 0.949 ^{Aa}	56.011 ± 1.104 ^{Aa}
	30	55.200 ± 0.954 ^{Aa}	53.394 ± 2.001 ^{Bb}	55.026 ± 1.180 ^{ABab}	55.977 ± 1.174 ^{Aa}	55.094 ± 0.950 ^{Aa}
Nişasta	2	29.285 ± 1.212 ^{Aa}	28.981 ± 1.041 ^{ABa}	30.199 ± 1.483 ^{Aab}	29.542 ± 0.896 ^{Aa}	27.756 ± 0.920 ^{Ba}
	5	28.653 ± 1.682 ^{Aa}	28.325 ± 0.798 ^{Aa}	29.539 ± 0.906 ^{Ab}	28.680 ± 1.038 ^{Aab}	28.734 ± 1.037 ^{Aab}
	10	29.494 ± 1.790 ^{Aa}	28.943 ± 0.696 ^{Aa}	29.211 ± 1.510 ^{Ba}	28.081 ± 1.462 ^{Ab}	29.418 ± 0.679 ^{Ab}
	20	29.005 ± 1.008 ^{Aa}	29.475 ± 0.595 ^{Aa}	29.532 ± 1.372 ^{Ab}	29.619 ± 0.816 ^{Aa}	28.633 ± 0.716 ^{Aab}
	30	29.569 ± 0.738 ^{ABa}	30.896 ± 1.252 ^{Cb}	30.012 ± 1.156 ^{A^{Cb}}	28.682 ± 0.791 ^{Bab}	29.261 ± 0.849 ^{ABb}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.



Şekil 3.24. Model Toz Puding üründe bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları

Tablo 3.56. Model Toz Puding ürününe ait ki-kare (χ^2) değerleri

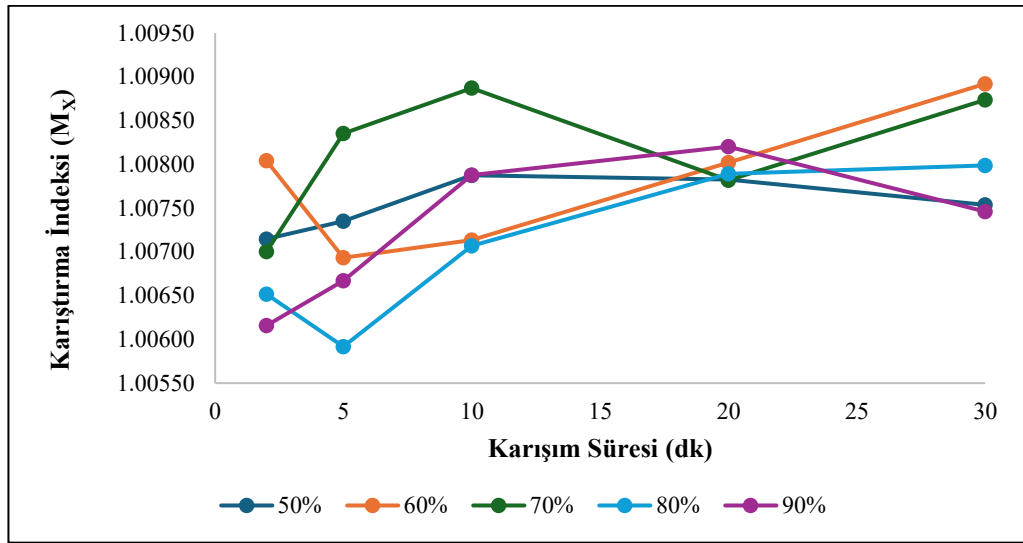
Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	6.6602	2.5526	4.5534	2.5905	12.0817
5	4.1851	2.2430	1.2095	3.5254	6.4164
10	4.0178	1.2309	2.9187	4.4411	3.4807
20	1.3465	0.8478	1.3137	0.7635	1.5986
30	0.6879	2.6720	0.7613	1.6571	1.0834

Tablo 3.57. Model Toz Puding ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

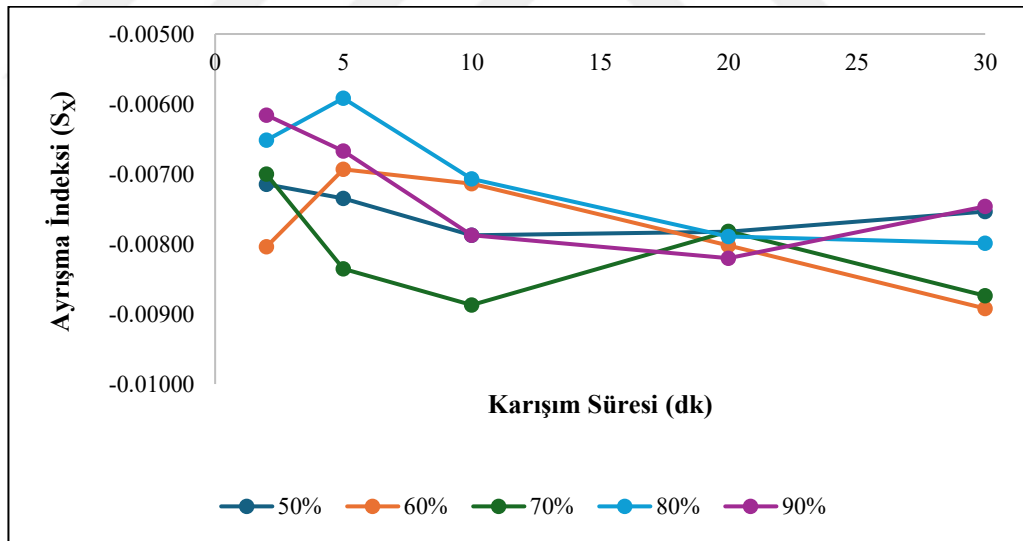
Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	1.00674	1.00881	1.00780	1.00879	1.00400
5	1.00799	1.00897	1.00949	1.00832	1.00686
10	1.00807	1.00948	1.00863	1.00786	1.00834
20	1.00942	1.00967	1.00944	1.00972	1.00929
30	1.00975	1.00875	1.00972	1.00926	1.00955

Tablo 3.58. Model Toz Puding ürününe ait ki-kare ayırma indeksi (S_X) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	-0.00674	-0.00881	-0.00780	-0.00879	-0.00400
5	-0.00799	-0.00897	-0.00949	-0.00832	-0.00686
10	-0.00807	-0.00948	-0.00863	-0.00786	-0.00834
20	-0.00942	-0.00967	-0.00944	-0.00972	-0.00929
30	-0.00975	-0.00875	-0.00972	-0.00926	-0.00955



Şekil 3.25. Model Toz Puding ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri



Şekil 3.26. Model Toz Puding ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_X) değerleri

3.4.4.2. Model Toz Puding Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

3.4.4.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon

Model toz puding ürününde, çalışma kapsamında yapılan karışımlardan elde edilen deneysel sonuçlar L_{25} ortogonal Taguchi Deneysel Tasarım yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir bileşene ait ortalama miktarlar (%) ve % CV değerleri için hesaplanan S/N oranları Tablo 3.59’da ve Şekil 3.27 ile 3.28’de sunulmuştur. S/N oranlarının tespit edilmesinde bileşenlerin ortalama miktarları reçete değerleri esas alındığı için “hedef değer – en iyi”; % CV değerleri ise “en küçük – en iyi” prensibine göre hesaplanmıştır. Taguchi yönteminde S/N oranlarının en yüksek değerlerini belirleyen karışım süresi ve mikser doluluk oranları Tablo 3.58’de belirtilmiştir.

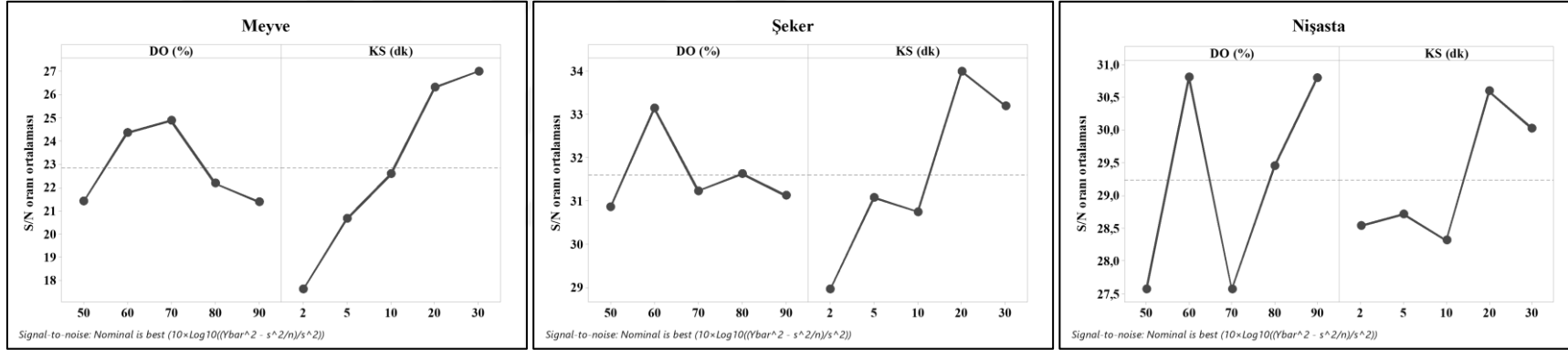
Tablo 3.60’ta yer alan değerler incelendiğinde bileşenlerin ortalama miktarlarının yer aldığı tablo (a) bölümünde DO faktörü için en büyük katkı nişasta için %30.80 olarak gözlenmiştir. Bu durumda optimum seviye DO için 2.seviye olan %60 doluluk olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde KS faktörü için en büyük katkı %72.80 değeri ile meyve bileşeninde oluşmuştur. Dolayısıyla meyve için KS faktörünün en büyük S/N değeri 5.seviyede tespit edildiğinden optimum faktör seviyesi de 30 dk’lık karışım olarak seçilmiştir. Yine aynı tablonun (b) CV değerleri için belirlenen S/N oranı değerleri incelendiğinde %70 dolulukta 20 dk’lık karışım noktası optimum olarak saptanmıştır. Bu iki faktörün tüm katkı düzeyleri incelendiğinde DO için %58.89 katkı ile meyve CV değerlerine ait S/N oranı ve KS için %72.80 katkı ile meyve ortalama miktara ait S/N oranı genel optimum noktasını belirlemede esas alınmıştır. Bu şartlar altında genel optimum karışım seviyeleri DO için %70 ve KS için 30 dk olarak belirlenmiştir.

Tablo. 3.59. Model Toz Puding ürün karışımına ait deneysel sonuçlar ve Taguchi metodu S/N oranları

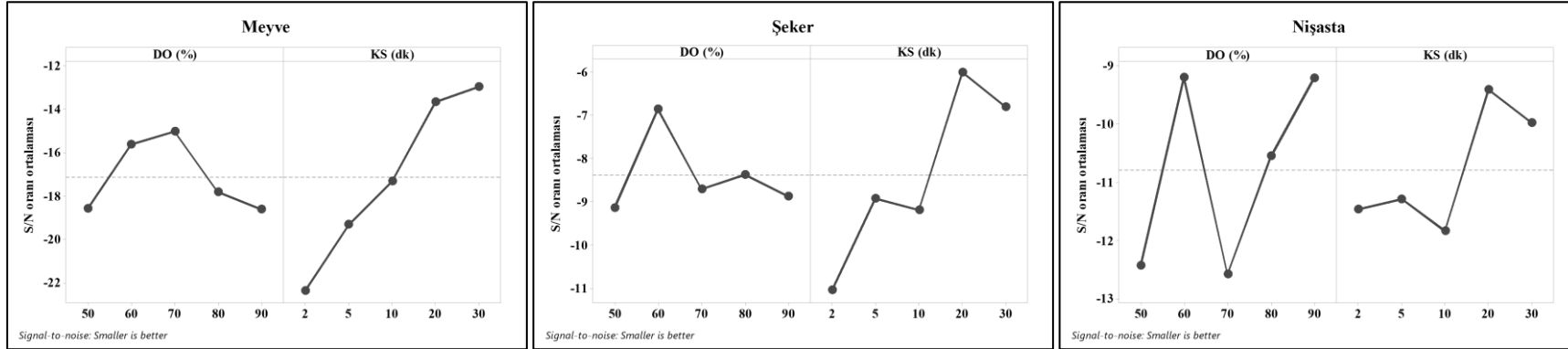
Faktör/Seviye		Deneysel Sonuçlar						Taguchi S/N oranı					
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar (%)			CV (%)			Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
		Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
50	2	16.180	54.535	29.285	16.205	4.435	4.139	15.796	27.062	27.661	-24.193	-12.937	-12.338
50	5	14.952	56.396	28.653	11.987	2.933	5.871	18.419	30.652	24.624	-21.575	-9.347	-15.374
50	10	15.878	54.628	29.494	9.766	4.502	6.067	20.201	26.930	24.338	-19.794	-13.069	-15.660
50	20	15.129	55.866	29.005	5.271	1.890	3.476	25.561	34.470	29.179	-14.438	-5.530	-10.821
50	30	15.232	55.200	29.569	4.412	1.728	2.494	27.106	35.251	32.061	-12.893	-4.749	-7.939
60	2	14.508	56.511	28.981	8.861	2.450	3.592	21.047	32.216	28.894	-18.949	-7.783	-11.106
60	5	15.141	56.534	28.325	5.986	1.866	2.818	24.456	34.580	31.002	-15.543	-5.420	-8.998
60	10	15.115	55.942	28.943	5.310	1.747	2.405	25.498	35.154	32.378	-14.501	-4.845	-7.622
60	20	15.443	55.082	29.475	5.069	1.736	2.019	25.900	35.207	33.898	-14.099	-4.793	-6.102
60	30	15.711	53.394	30.896	5.652	3.748	4.053	24.955	28.523	27.843	-15.043	-11.476	-12.156
70	2	14.204	55.596	30.199	14.499	4.096	4.912	16.764	27.753	26.174	-23.227	-12.247	-13.825
70	5	15.207	55.254	29.539	5.789	2.783	3.067	24.747	31.108	30.265	-15.252	-8.891	-9.734
70	10	15.546	55.243	29.211	5.349	2.151	5.169	25.047	33.042	26.467	-14.565	-6.653	-14.268
70	20	15.185	55.283	29.532	4.104	2.847	4.647	27.735	30.911	26.656	-12.264	-9.089	-13.343
70	30	14.962	55.026	30.012	3.126	2.144	3.853	30.101	33.376	28.282	-9.899	-6.624	-11.717
80	2	15.350	55.108	29.542	11.365	2.729	3.033	18.883	31.279	30.363	-21.112	-8.721	-9.637
80	5	14.737	56.583	28.680	11.208	3.035	3.619	19.004	30.358	28.827	-20.991	-9.642	-11.173
80	10	14.997	56.922	28.081	8.564	4.146	5.205	21.344	27.646	25.671	-18.653	-12.353	-14.328
80	20	15.245	55.135	29.619	4.823	1.721	2.756	26.332	35.283	31.194	-13.667	-4.717	-8.806
80	30	15.341	55.977	28.682	5.413	2.097	2.757	25.330	33.566	31.190	-14.669	-6.434	-8.810
90	2	17.494	54.750	27.756	16.352	4.696	3.314	15.717	26.564	29.592	-24.272	-13.435	-10.408
90	5	16.475	54.791	28.734	14.531	3.675	3.608	16.745	28.694	28.854	-23.246	-11.306	-11.146
90	10	16.438	54.143	29.418	9.082	2.815	2.309	20.833	31.011	32.731	-19.163	-8.989	-7.269
90	20	15.356	56.011	28.633	4.984	1.971	2.500	26.047	34.104	32.040	-13.952	-5.895	-7.960
90	30	15.646	55.094	29.261	4.187	1.725	2.902	27.561	35.263	30.747	-12.439	-4.737	-9.253

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen optimum noktayı göstermektedir.



Şekil 3.27. Model Toz Puding ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları



Şekil 3.28. Model Toz Puding ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları

Tablo 3.60. Model Toz Puding ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları

a) Ortalama Miktar (%) için S/N oranları b) % CV için S/N oranları

a)	Meyve		Şeker		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	21.42	17.64	30.87	28.98	27.57	28.54
2	24.37	20.67	33.14	31.08	30.8	28.72
3	24.88	22.58	31.24	30.76	27.57	28.32
4	22.18	26.32	31.63	34	29.45	30.59
5	21.38	27.01	31.13	33.2	30.79	30.03
Fark	3.5	9.37	2.26	5.02	3.23	2.28
Sıra	2	1	2	1	1	2
% Katkı	27.20	72.80	31.04	68.96	58.62	41.38

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 2 (%60) ve KS (dk): 5 (30 dk)

b)	Meyve		Şeker		Nişasta	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	-18.58	-22.35	-9.13	-11.03	-12.43	-11.46
2	-15.63	-19.32	-6.86	-8.92	-9.20	-11.29
3	-15.04	-17.34	-8.70	-9.18	-12.58	-11.83
4	-17.82	-13.68	-8.37	-6.01	-10.55	-9.41
5	-18.61	-12.99	-8.87	-6.80	-9.21	-9.98
Fark	3.57	9.36	2.26	5.02	3.38	2.42
Sıra	2	1	2	1	1	2
% Katkı	58.89	41.11	56.60	43.40	48.00	52.00

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 4 (20 dk)

Genel optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen en yüksek S/N oranını göstermektedir.

3.4.4.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Kriter ağırlıklandırma amacıyla önceki bölümde listelenen Taguchi metodundan elde edilen S/N oranı değerleri kullanılmıştır (Tablo3.60). Her bir bileşen için ortalama miktar ve CV değerlerine ait Delta değerleri mikserin doluluk oranları ve karışım sürelerine ait Delta değerlerinin toplanması ile hesaplanmıştır. Ardından tüm delta değerleri toplanarak toplam delta tespit edilmiştir. Kriterlerin katkıları delta değerlerinin toplam deltaya

oranlanması ile bulunmuş ve % olarak ifade edilmiştir (Tablo 3.61). Kriter ağırlıkları içinde meyve bileşeninin ortalama miktar ve CV değerlerine ait katkı toplam ağırlığın yaklaşık yarısını oluşturmuş ve en etkili kriter olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.61. Model Toz Puding ürünüde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
Delta	12.87	7.28	5.51	12.93	7.28	5.80
% Katkı	24.91	14.09	10.66	25.02	14.09	11.23
Ağırlık (W_i)	0.249	0.141	0.107	0.250	0.141	0.112

GİA yönteminin ilk aşamasında veriler normalize edilmiştir. Ortalama miktarlar için “hedef değer – en iyi”; CV değerleri için “en küçük – en iyi” prensibi uygulanmış ve ardından uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Normalize veriler matrisi, uzaklık matrisi ve GİK değerleri Tablo 3.62’de sunulmuştur. GİK hesaplamasında ayırım katsayısı (ϕ) 0.5 olarak değerlendirilmiştir.

Yöntemin sonraki basamağında GİD hesaplanmıştır. Bu hesaplamada GİK değerleri hem ağırlıksız hem de kriter ağırlıkları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. GİD₀ kriterlerin herhangi bir ağırlık katsayısı olmadan, GİD_T ise Taguchi metoduyla elde edilen kriter ağırlıkları ile ortaya konmuştur (Tablo 3.63). En yüksek GİD değerine sahip nokta hem ağırlıksız hem de Taguchi ağırlıklı yöntemde %70 doluluk oranında 30 dakikalık karışım sonucu elde edilmiştir ve GİD₀ için 0.879, GİD_T için 0.909 değerini almıştır.

Tablo 3.62. Model Toz Puding ürünü için oluşturulan GİA değerleri

Faktör/Seviye		Normalize Veriler						Uzaklık Matrisi						Gri İlişki Katsayısı (GİK)					
		Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV		
		Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
DO (%)	KS (dk)																		
50	2	0.527	0.758	0.681	0.011	0.088	0.476	0.472	0.228	0.313	0.989	0.912	0.524	0.515	0.687	0.615	0.336	0.354	0.488
50	5	0.981	0.274	0.400	0.330	0.593	0.049	0.018	0.712	0.595	0.670	0.407	0.951	0.965	0.412	0.457	0.427	0.551	0.344
50	10	0.648	0.806	0.775	0.498	0.065	0.000	0.351	0.180	0.220	0.502	0.935	1.000	0.588	0.735	0.694	0.499	0.348	0.333
50	20	0.948	0.549	0.557	0.838	0.943	0.640	0.050	0.437	0.438	0.162	0.057	0.360	0.909	0.534	0.533	0.755	0.898	0.582
50	30	0.907	0.896	0.808	0.903	0.998	0.883	0.092	0.090	0.187	0.097	0.002	0.117	0.845	0.847	0.728	0.837	0.996	0.810
60	2	0.803	0.214	0.546	0.566	0.755	0.612	0.196	0.772	0.449	0.434	0.245	0.388	0.718	0.393	0.527	0.536	0.671	0.563
60	5	0.943	0.202	0.253	0.784	0.951	0.803	0.055	0.784	0.741	0.216	0.049	0.197	0.900	0.389	0.403	0.698	0.911	0.717
60	10	0.954	0.510	0.529	0.835	0.991	0.905	0.045	0.476	0.466	0.165	0.009	0.095	0.918	0.512	0.518	0.752	0.983	0.840
60	20	0.822	0.957	0.766	0.853	0.995	1.000	0.176	0.029	0.229	0.147	0.005	0.000	0.739	0.945	0.686	0.773	0.990	1.000
60	30	0.715	0.164	0.601	0.809	0.319	0.497	0.284	0.822	0.394	0.191	0.681	0.503	0.638	0.378	0.559	0.724	0.423	0.499
70	2	0.681	0.690	0.911	0.140	0.202	0.285	0.318	0.297	0.083	0.860	0.798	0.715	0.611	0.628	0.857	0.368	0.385	0.412
70	5	0.917	0.868	0.794	0.799	0.643	0.741	0.082	0.119	0.200	0.201	0.357	0.259	0.860	0.808	0.714	0.713	0.583	0.659
70	10	0.781	0.874	0.648	0.832	0.856	0.222	0.217	0.113	0.346	0.168	0.144	0.778	0.697	0.816	0.591	0.748	0.776	0.391
70	20	0.926	0.853	0.792	0.926	0.621	0.351	0.073	0.134	0.203	0.074	0.379	0.649	0.873	0.789	0.711	0.871	0.569	0.435
70	30	0.985	0.986	0.995	1.000	0.858	0.547	0.014	0.000	0.000	0.000	0.142	0.453	0.973	1.000	1.000	1.000	0.779	0.525
80	2	0.860	0.944	0.796	0.377	0.661	0.750	0.139	0.042	0.199	0.623	0.339	0.250	0.783	0.922	0.716	0.445	0.596	0.666
80	5	0.895	0.177	0.412	0.389	0.559	0.605	0.104	0.810	0.583	0.611	0.441	0.395	0.828	0.382	0.462	0.450	0.531	0.558
80	10	0.999	0.000	0.145	0.589	0.185	0.213	0.000	0.986	0.850	0.411	0.815	0.787	1.000	0.336	0.370	0.549	0.380	0.389
80	20	0.902	0.930	0.830	0.872	1.000	0.818	0.097	0.057	0.164	0.128	0.000	0.182	0.837	0.898	0.753	0.796	1.000	0.733
80	30	0.863	0.492	0.413	0.827	0.874	0.818	0.135	0.495	0.582	0.173	0.126	0.182	0.787	0.503	0.462	0.743	0.798	0.733
90	2	0.000	0.870	0.000	0.000	0.000	0.680	0.999	0.116	0.995	1.000	1.000	0.320	0.334	0.811	0.335	0.333	0.333	0.610
90	5	0.409	0.891	0.436	0.138	0.343	0.607	0.590	0.095	0.559	0.862	0.657	0.393	0.459	0.841	0.472	0.367	0.432	0.560
90	10	0.423	0.554	0.741	0.550	0.632	0.928	0.575	0.432	0.254	0.450	0.368	0.072	0.465	0.537	0.663	0.526	0.576	0.875
90	20	0.857	0.474	0.391	0.859	0.916	0.881	0.141	0.512	0.604	0.141	0.084	0.119	0.779	0.494	0.453	0.781	0.856	0.808
90	30	0.741	0.951	0.670	0.920	0.999	0.782	0.258	0.035	0.324	0.080	0.001	0.218	0.660	0.934	0.607	0.862	0.997	0.696

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.63. Model Toz Puding ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması

Faktör/Seviye							
DO (%)	KS (dk)	GİD ₀	Sıra	GİD _T	Sıra	GİD _E	Sıra
50	2	0.499	24	0.479	24	0.373	25
50	5	0.526	21	0.570	17	0.446	20
50	10	0.533	20	0.535	21	0.426	21
50	20	0.702	9	0.739	8	0.758	9
50	30	0.844	3	0.848	2	0.874	2
60	2	0.568	16	0.582	15	0.578	16
60	5	0.670	14	0.706	11	0.759	8
60	10	0.754	6	0.777	6	0.832	6
60	20	0.856	2	0.836	4	0.877	1
60	30	0.537	18	0.569	19	0.596	15
70	2	0.543	17	0.525	22	0.383	24
70	5	0.723	7	0.739	9	0.668	13
70	10	0.670	13	0.692	13	0.682	12
70	20	0.708	8	0.751	7	0.701	11
70	30	0.879	1	0.909	1	0.843	4
80	2	0.688	11	0.671	14	0.533	17
80	5	0.535	19	0.559	20	0.495	18
80	10	0.504	23	0.570	18	0.472	19
80	20	0.836	4	0.838	3	0.838	5
80	30	0.671	12	0.697	12	0.755	10
90	2	0.459	25	0.432	25	0.390	23
90	5	0.522	22	0.499	23	0.425	22
90	10	0.607	15	0.573	16	0.611	14
90	20	0.695	10	0.719	10	0.806	7
90	30	0.793	5	0.795	5	0.863	3

DO: Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi, GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi,

GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi

Koyu karakterdeki değerler farklı yöntemlerle belirlenen en iyi karışım noktalarını belirtmektedir.

GİA yönteminde faktör ve seviyelerin yeni GİD değerleri ile optimum karışım noktaları tespit edilmiştir. Bu işlem için, %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD₀ (%50) için yeni değer: $(0.499 + 0.526 + 0.533 + 0.702 + 0.844) / 5 = 0.593$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak hesaplanmıştır [GİD₀ (2 dk) için yeni değer: $(0.499 + 0.568 + 0.543 + 0.688 + 0.459) / 5 = 0.552$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler

oluşturulmuştur. Bu yeni değerlerin yer aldığı tablolar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.64–3.65).

Tablo 3.64. Model Toz Puding ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.621	0.677	0.705	0.647	0.615	0.090	2
KS (dk)	0.552	0.595	0.614	0.759	0.745	0.208	1
Ortalama	0.653						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 4 (20 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

Tablo 3.65. Model Toz Puding ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri

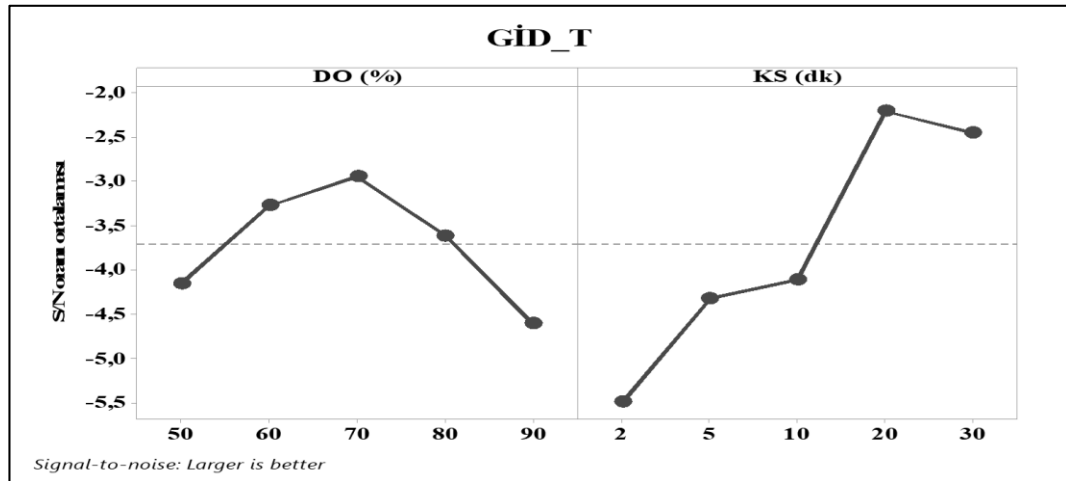
Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.634	0.694	0.723	0.667	0.604	0.120	2
KS (dk)	0.538	0.615	0.630	0.776	0.763	0.239	1
Ortalama	0.664						

Optimum Seviyeler: DO (%): 3 (%70) ve KS (dk): 4 (20 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde elde edilen GID_T değerlerinin S/N oranı değerleri Şekil 3.29’da gösterilmiştir. GID_T grafiği incelendiğinde DO faktörünün 3. ve KS faktörünün 4.seviyesinin en yüksek S/N oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 3.65’teki bilgileri doğrulamış ve optimum faktör seviyeleri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.29. Toz Puding ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD_T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri

Gri İlişkisel Analiz yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.66 ile 3.67’de gösterilmiştir. Ağırlıksız GİD değerlerine ait varyans tablosu incelendiğinde DO faktörünün modele etkisi istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$) ancak KS faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerin modele olan etkileri göz önüne alındığında %45.25 katkı ile KS faktörünün daha önemli olduğu ve Tablo 3.64’te yer alan sıralamayla uyum içinde bulunduğu belirlenmiştir. Taguchi ağırlıklı GİA yönteminden elde edilen GİD değerlerine ait analiz sonuçlarında da DO faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemsizken KS faktörünün etkisi önemli tespit edilmiştir. Yine modele olan katkıları açısından değerlendirildiğinde KS faktörünün %51 oran ile daha etken bir faktör olduğu gözlenmiştir.

Tablo. 3.66. Model Toz Puding ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD₀ değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.02873	0.007182	0.63	0.648	7.45
KS (dk)	4	0.17458	0.043644	3.83	0.023	45.25
Hata	16	0.18253	0.011408			47.31
Toplam	24	0.38583				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo. 3.67. Model Toz Puding ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_T değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.04457	0.011143	1.13	0.377	10.80
KS (dk)	4	0.21044	0.052609	5.34	0.006	51.00
Hata	16	0.15761	0.009850			38.20
Toplam	24	0.41261				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Yönteminin son aşamasında belirlenen genel optimum karışım faktörleri ve seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Denklem 38 kullanılarak yapılan hesaplamalarda ağırlıksız GİD₀ değerinin optimum noktası olan %70 doluluk ve 20 dakikalık karışım süresi için belirlenen GİD değeri 0.811 olmuştur. $[GİD_0 = 0.653 + (0.705 - 0.653) + (0.759 - 0.653) = 0.811]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz puding ürünü için %70 doluluk ve 20 dakikalık karışımında elde edilen GİD₀ değeri 0.708 olarak belirlenmiştir.

Taguchi ağırlıklı GİD değerinin optimum seviyeleri de aynı olduğundan %70 doluluk oranı ve 20 dk karışım süresi için tahminlenen değeri 0.835 olmuştur $[GİD_T = 0.664 + (0.723 - 0.664) + (0.776 - 0.664) = 0.835]$. Deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanan optimum noktaya ait GİD_T değeri 0.751 olarak saptanmış ve tahminlenen değerden düşük tespit edilmiştir.

3.4.4.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Çalışmanın bu bölümünde model toz puding ürünü için entropi yöntemi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. İlk olarak verilerin normalizasyonu sağlanmıştır. Denklem 24 aracılığıyla oluşturulan normalize değerler Tablo 3.68’de sunulmuştur. Entropi (e_j) değerlerinin hesaplanmasında k sabiti $1/\ln(m)$ formülü ile belirlenmiş ve m değeri alternatif sayısını belirtecek şekilde deney sayısı olan 25 olarak seçilmiştir. Entropi değerleri (e_j) ve farklılaşma dereceleri (d_j) Tablo 3.69’da listelenmiştir. Sonuçlar

incelendiğinde en yüksek kriter ağırlığı %52'lik katkısı ile meyve bileşeninin CV değerine ait olmuştur. İkinci sırada ise şeker bileşeninin CV değeri (~%27) büyük kriter ağırlığına sahip olmuştur.

Tablo 3.68.Model Toz Puding ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler					
		Ortalama Miktar			CV		
		Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
DO (%)	KS (dk)						
50	2	0.0420	0.0394	0.0401	0.0803	0.0637	0.0457
50	5	0.0388	0.0407	0.0393	0.0594	0.0421	0.0648
50	10	0.0412	0.0394	0.0404	0.0484	0.0646	0.0670
50	20	0.0392	0.0403	0.0398	0.0261	0.0271	0.0384
50	30	0.0395	0.0399	0.0405	0.0219	0.0248	0.0275
60	2	0.0376	0.0408	0.0397	0.0439	0.0352	0.0396
60	5	0.0393	0.0408	0.0388	0.0296	0.0268	0.0311
60	10	0.0392	0.0404	0.0397	0.0263	0.0251	0.0265
60	20	0.0401	0.0398	0.0404	0.0251	0.0249	0.0223
60	30	0.0408	0.0386	0.0424	0.0280	0.0538	0.0447
70	2	0.0368	0.0401	0.0414	0.0718	0.0588	0.0542
70	5	0.0395	0.0399	0.0405	0.0287	0.0400	0.0339
70	10	0.0403	0.0399	0.0400	0.0265	0.0309	0.0571
70	20	0.0394	0.0399	0.0405	0.0203	0.0409	0.0513
70	30	0.0388	0.0397	0.0411	0.0155	0.0308	0.0425
80	2	0.0398	0.0398	0.0405	0.0563	0.0392	0.0335
80	5	0.0382	0.0409	0.0393	0.0555	0.0436	0.0400
80	10	0.0389	0.0411	0.0385	0.0424	0.0595	0.0575
80	20	0.0396	0.0398	0.0406	0.0239	0.0247	0.0304
80	30	0.0398	0.0404	0.0393	0.0268	0.0301	0.0304
90	2	0.0454	0.0395	0.0380	0.0810	0.0674	0.0366
90	5	0.0427	0.0396	0.0394	0.0720	0.0528	0.0398
90	10	0.0426	0.0391	0.0403	0.0450	0.0404	0.0255
90	20	0.0398	0.0404	0.0392	0.0247	0.0283	0.0276
90	30	0.0406	0.0398	0.0401	0.0207	0.0248	0.0320

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.69. Model Toz Puding ürününde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar			CV		
	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
Entropi (e_j)	0.99971	0.99997	0.99992	0.96402	0.98151	0.98592
Farklılaşma derecesi (d_j)	0.00029	0.00003	0.00008	0.03598	0.01849	0.01408
Ağırlık (w_j)	0.00418	0.00049	0.00117	0.52182	0.26813	0.20421

Belirlenen kriter ağırlıklarının ardından GİD hesaplaması yapılmıştır. Bu amaçla Tablo 3.62’de yer alan GİK değerleri her bir bileşene ait kriter ağırlığı ile çarpılarak toplanmıştır. Elde edilen GİD_E değerleri ve en yüksek değerden başlanarak yapılan sıralama Tablo 3.63’te listelenmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde en yüksek GİD_E değeri 0.877 ile %60 doluluk ve 20 dakikalık karışım olduğu belirlenmiştir.

Entropi ağırlıklı GİA yönteminin optimum koşulları belirlemek amacıyla faktörler ve seviyelerin yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Bu adımda %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri belirlenmiştir. [GİD_E (%50) için yeni değer: $(0.373 + 0.446 + 0.426 + 0.758 + 0.874) / 5 = 0.575$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD_E (2 dk) için yeni değer: $(0.373 + 0.578 + 0.383 + 0.533 + 0.390) / 5 = 0.451$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerler Tablo 3.70’te yer almıştır. Bulgular mikserin doluluk oranı için 2. ve karışım süresi için 4.seviyenin optimum olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.70. Model Toz Puding ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_E değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.575	0.729	0.656	0.619	0.619	0.153	2
KS (dk)	0.451	0.559	0.605	0.796	0.787	0.345	1
Ortalama	0.639						

Optimum Seviyeler: DO (%): 2 (%60) ve KS (dk): 4 (20 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.71’de gösterilmiştir. Tablodaki veriler ışığında mikserin doluluk oranının GID değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) iken karışım süresinin etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerden karışım süresinin modele olan katkısı %59.45 olarak tespit edilmiş ve en önemli faktör olmuştur. Varyans analizi sonuçları Tablo 3.70’te yer alan sonuçları desteklemiştir.

Tablo. 3.71. Model Toz Puding ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GID_E değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.06589	0.01647	1.11	0.388	8.78
KS (dk)	4	0.44617	0.11154	7.49	0.001	59.45
Hata	16	0.23841	0.01490			31.77
Toplam	24	0.75046				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **DO:** Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında genel optimum karışım seviyelerine ait GID tahminlemesi yapılmıştır. GID_E değeri, optimum nokta olarak belirlenen %60 doluluk ve 20 dakikalık karışım süresi için 0.885 olarak hesaplanmıştır. [$GID_E = 0.639 + (0.729 - 0.639) + (0.796 - 0.639) = 0.885$]. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle

karşılaştırılmıştır. Toz puding ürünü için %60 doluluk ve 20 dakikalık karışımında elde edilen GID_E değeri 0.877 olarak belirlenmiş ve tahmini değerle uyum sağlamıştır.

Toz puding ürünüde belirlenen optimum karışım noktaları ve bu noktalardaki deneysel sonuçlara ait veriler Tablo 3.72’de özetlenmiştir. Kullanılan farklı yöntemlerden sadece entropi ağırlıklı gri ilişkisel analiz sonucu farklılık göstermiştir. Bu yöntemde %60 dolulukta 20 dk’lık karışım optimum nokta iken diğer üç yöntemde elde edilen optimum nokta %70 doluluk ve 30 dk’lık karışım noktası olmuştur. Tespit edilen optimum koşullarda elde edilen deneysel verilerin hepsi kabul edilebilir seviyede görülmüştür

Tablo 3.72. Model Toz Puding ürünüde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Yöntem	Optimum Faktör/Seviye		Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	DO (%)	KS (dk)	Meyve	Şeker	Nişasta	Meyve	Şeker	Nişasta
Taguchi	70	30	14.962	55.026	30.012	3.126	2.144	3.853
GİA (ağırlıksız)								
Taguchi Ağırlıklı GİA								
Entropi Ağırlıklı GİA	60	20	15.443	55.082	29.475	5.069	1.736	2.019

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

3.4.5. Model Aşure Ürün Karışımı Analizi

V-tipi mikserde taneli ürünlerin karışım durumunu incelemek amacıyla aşure modeli seçilmiş ve kuru haldeki nohut, fasulye, buğday ve siyah üzüm kullanılarak karışımlar yapılmıştır. Model ürün için tasarlanan reçete bileşenlerinin mikser içerisinde kaplayacakları hacim dökme yığın yoğunlukları esas alınarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.73’te gösterilmiştir. Beş farklı süre (2, 5, 10, 20 ve 30 dakika) ile mikserin beş farklı doluluk oranı (% 50, 60, 70, 80 ve 90) tam faktöriyel dizayn olarak tasarlanmış ve karışımlar yapılmıştır.

Tablo 3.73. Model Aşure ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Parametre	Siyah Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
Ortalama partikül boyutu, d_{50} (mm)	9.250	8.794	8.676	3.935
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm³)	0.512	0.684	0.716	0.787
Partikül yoğunluğu (g/ cm³)	1.432	1.403	1.455	1.400

Model aşure ürünü için oluşturulan reçete göz önüne alınarak yapılan karışımları incelemek amacıyla mikserin beş farklı bölgesinden alınan örnekler elle seçilerek birbirinden ayrılmış ve tartılmıştır. Her bir doluluk oranı ve karışım süresi içinde alınan örneklerin ortalama % miktarları ve CV (%) değerleri Tablo 3.74’te verilmiştir. Karışımlara etki eden faktörler incelendiğinde süre ve doluluk oranının ayrı ayrı; aynı zamanda süre*doluluk oranı etkileşiminin de bileşenlerin ortalama miktarları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Ayrıca süre*doluluk oranı etkileşimi fasulye ortalama miktarı için önemli ($p<0.05$), diğer bileşenlerin ortalama miktarları için ise önemsiz ($p>0.05$) olarak tespit edilmiştir. Bileşenlerin miktar değerleri reçete değerlerinden %10’luk sapma durumu esas alınarak değerlendirilmiştir. Bu şartlar altında üzüm 12.857 – 15.714 değerleri arasında, nohut ve fasulye 17.143 – 20.952 arasında ve buğday 42.857 – 52.381 değerleri arasında kabul edilebilir miktarlar içermektedir. Alt ve üst sınırlar dikkate alındığında ortalama değerlere göre sadece üzüm bileşeni %90 doluluk ve 10 dakikalık karışım durumunda, nohut ise %70 doluluk oranı ile 5 dakikalık karışım süresinde kabul değerlerinin dışında kalmıştır. Üzüm ortalama miktarı tüm süre ve doluluk oranları göz önüne alındığında %12.128 – 14.497 arasında değişmiştir. Nohut ve fasulye ortalama miktarları %17.096 – 20.437 ile %17.542 – 20.819 arasında ve buğday miktarı da %46.44 – 51.439 arasında değişim göstermiştir.

Karışımların homojen olarak kabul edilebilmesi CV değerlerinin %10’un altında olduğu durumlar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. CV değerlerinin zamanla değişim grafikleri her bir bileşen için Şekil 3.30’da görselleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda CV değerlerinin özellikle 2 ve 5 dk’lık karışımlarda %10 değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Sonuçta hedeflenen ortalama miktarlar ve CV değerleri birlikte incelendiğinde %50, 60 ve 70 doluluk oranında 10 dakika, %80 ve 90 dolulukta 20 dakikalık karışımlar homojen karışımın sağlandığı en düşük karışım süreleri olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.74. Model Aşure ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri

Bileşen	Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
		50	60	70	80	90
Siyah Üzüm	2	13.600 ± 2.251 ^{Aa}	13.532 ± 1.067 ^{Aa}	13.852 ± 1.603 ^{Aa}	12.857 ± 2.043 ^{Aa}	14.497 ± 2.436 ^{Aa}
	5	13.284 ± 1.885 ^{Aa}	13.124 ± 1.536 ^{Aa}	13.831 ± 0.768 ^{Aa}	13.304 ± 1.641 ^{Aa}	13.887 ± 1.594 ^{Aa}
	10	13.383 ± 1.136 ^{Aa}	13.489 ± 1.171 ^{Aa}	13.899 ± 1.334 ^{Aa}	13.453 ± 1.550 ^{Aa}	12.128 ± 1.437^{Aa}
	20	13.662 ± 1.171 ^{Aa}	13.693 ± 0.885 ^{Aa}	13.531 ± 0.712 ^{Aa}	13.250 ± 0.944 ^{Aa}	13.752 ± 1.161 ^{Aa}
	30	13.074 ± 1.295 ^{Aa}	14.211 ± 0.938 ^{Aa}	14.701 ± 1.160 ^{Aa}	14.008 ± 0.985 ^{Aa}	13.963 ± 1.352 ^{Aa}
Nohut	2	18.579 ± 2.211 ^{Aa}	17.487 ± 1.989 ^{Aa}	18.918 ± 2.153 ^{Aa}	19.376 ± 2.001 ^{Aa}	18.492 ± 1.691 ^{Aa}
	5	18.601 ± 0.738 ^{ABa}	18.306 ± 2.020 ^{ABa}	17.096 ± 2.123^{Aa}	20.437 ± 1.926 ^{Ba}	18.441 ± 1.093 ^{ABa}
	10	18.996 ± 1.195 ^{Aa}	18.997 ± 1.078 ^{Aa}	19.332 ± 0.658 ^{Aa}	18.794 ± 1.198 ^{Aa}	19.675 ± 1.365 ^{Aa}
	20	18.587 ± 1.160 ^{Aa}	19.390 ± 0.869 ^{Aa}	18.932 ± 1.431 ^{Aa}	19.964 ± 1.474 ^{Aa}	19.751 ± 1.271 ^{Aa}
	30	19.662 ± 1.245 ^{Aa}	18.830 ± 0.840 ^{Aa}	19.583 ± 0.703 ^{Aa}	19.669 ± 0.978 ^{Aa}	19.953 ± 1.121 ^{Aa}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

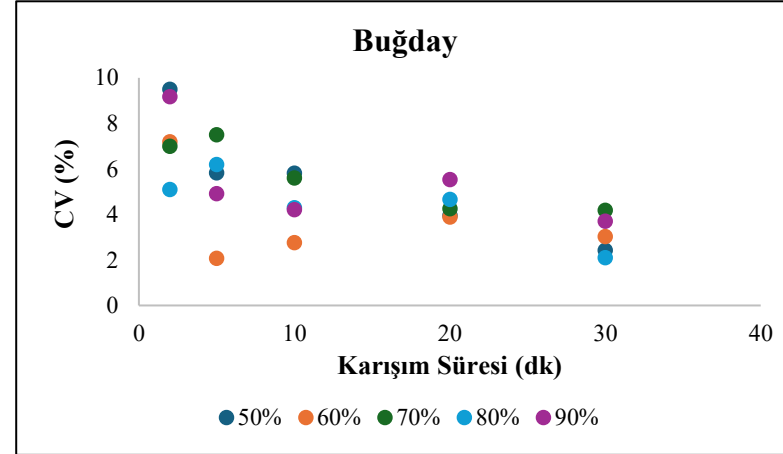
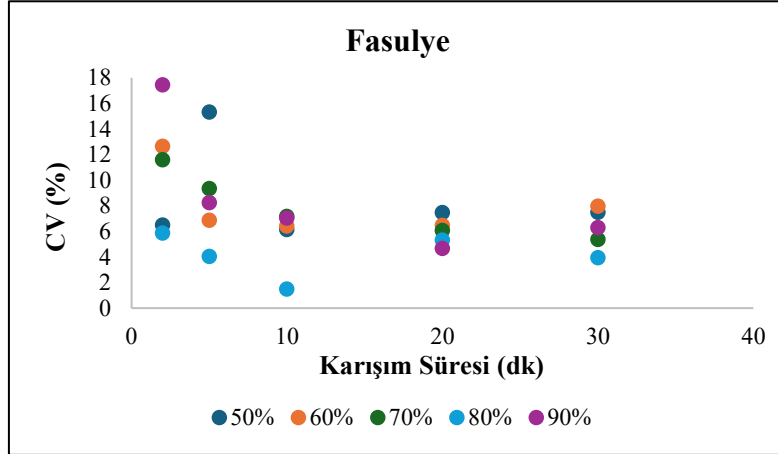
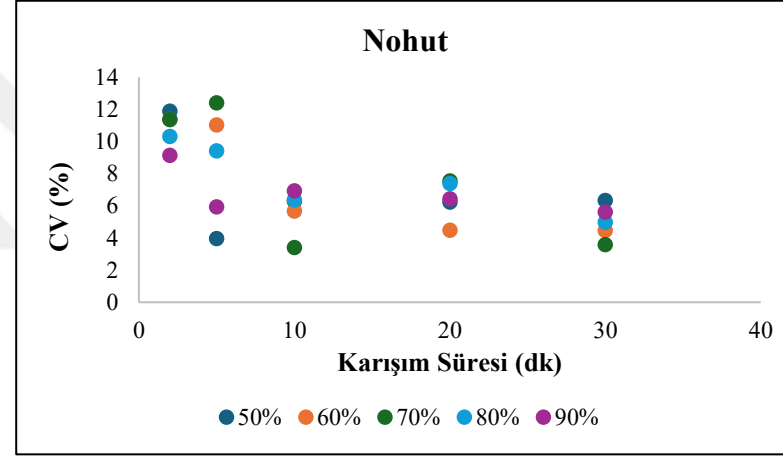
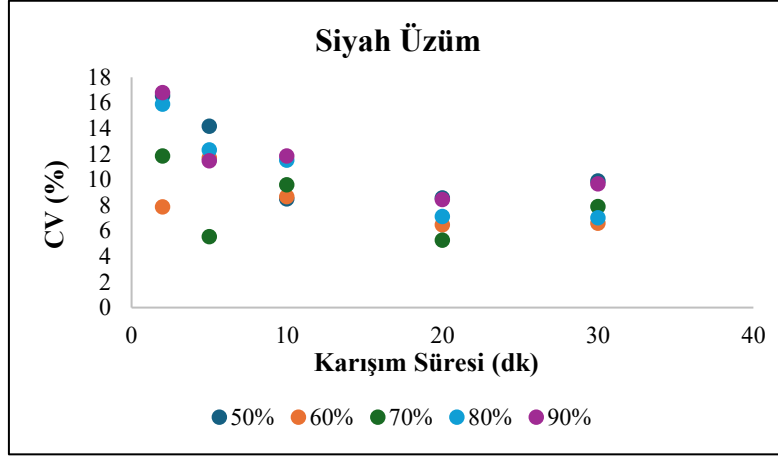
Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlamadığını ifade etmektedir.

Tablo 3.74. Model Aşure ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri (devamı)

Bileşen	Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
		50	60	70	80	90
Fasulye	2	19.155 ± 1.241 ^{Aa}	17.542 ± 2.218 ^{Aa}	18.103 ± 2.098 ^{Aa}	19.916 ± 1.165 ^{Aab}	20.667 ± 3.603 ^{Aa}
	5	17.780 ± 2.723 ^{Aa}	19.886 ± 1.365 ^{Aa}	19.223 ± 1.796 ^{Aa}	20.897 ± 0.843 ^{Aa}	19.454 ± 1.603 ^{Aa}
	10	20.561 ± 1.259 ^{Aa}	18.997 ± 1.217 ^{Aa}	18.597 ± 1.332 ^{Aa}	18.876 ± 0.279 ^{Ab}	20.493 ± 1.441 ^{Aa}
	20	18.707 ± 1.395 ^{Aa}	19.629 ± 1.266 ^{Aa}	19.131 ± 1.161 ^{Aa}	18.869 ± 1.004 ^{Ab}	18.197 ± 0.850 ^{Aa}
	30	18.309 ± 1.372 ^{Aa}	19.307 ± 1.536 ^{Aa}	19.264 ± 1.034 ^{Aa}	19.630 ± 0.770 ^{Aab}	19.177 ± 1.206 ^{Aa}
Buğday	2	48.667 ± 4.619 ^{Aa}	51.439 ± 3.697 ^{Aa}	49.445 ± 3.455 ^{Aa}	47.851 ± 2.438 ^{Aa}	46.344 ± 4.245 ^{Aa}
	5	50.334 ± 2.926 ^{Aa}	48.684 ± 1.004 ^{Aab}	49.850 ± 3.732 ^{Aa}	45.362 ± 2.807 ^{Aa}	48.218 ± 2.367 ^{Aa}
	10	47.060 ± 2.731 ^{Aa}	48.517 ± 1.336 ^{Aab}	48.172 ± 2.697 ^{Aa}	48.877 ± 2.093 ^{Aa}	47.704 ± 2.008 ^{Aa}
	20	49.044 ± 1.938 ^{Aa}	47.289 ± 1.838 ^{Ab}	48.406 ± 2.053 ^{Aa}	47.918 ± 2.227 ^{Aa}	48.300 ± 2.668 ^{Aa}
	30	48.955 ± 1.180 ^{Aa}	47.652 ± 1.440 ^{Aab}	46.452 ± 1.936 ^{Aa}	46.693 ± 0.980 ^{Aa}	46.907 ± 1.734 ^{Aa}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).



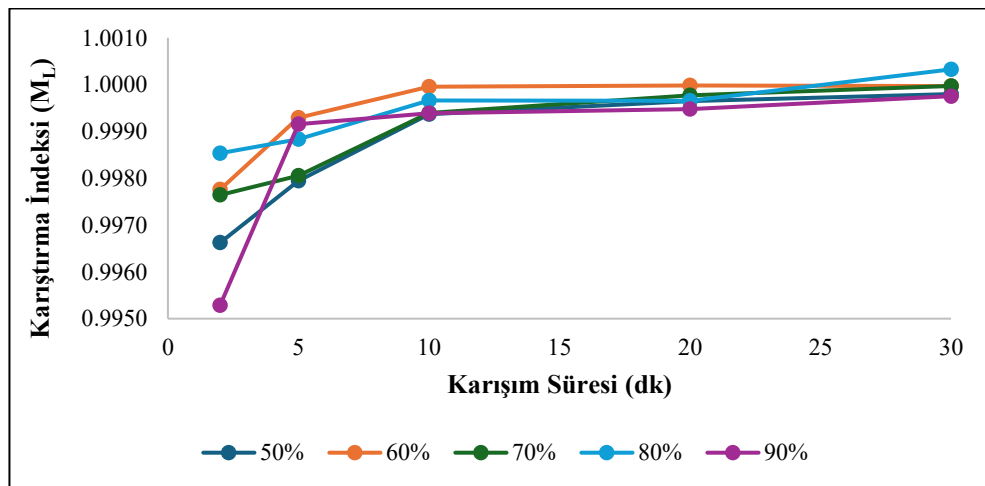
Şekil 3.30. Model Aşure üründe bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları

3.4.5.1. Model Aşure Ürününde Karıştırma ve Ayrışma İndeksleri

Model aşure ürününde hesaplanan ve karışımların kalitesini ifade etmekte kullanılan Lacey karıştırma indeksi değerleri Tablo 3.75'te listelenmiş ve zamana bağlı değişimleri Şekil 3.31'de görselleştirilmiştir. Farklı doluluk oranlarında ve zamana bağlı olarak hesaplanan karıştırma indeksi değerleri 0.9953 – 1.0003 arasında değişmiş ve homojen karışımın meydana geldiğini göstermiştir. Grafığe aktarılan değerler karışım süresinin arttıkça M_L değerlerinin de arttığını ve 10.dakikadan sonra dengeye ulaştığını göstermiştir.

Tablo 3.75. Model Aşure ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	0.9966	0.9978	0.9976	0.9985	0.9953
5	0.9979	0.9993	0.9981	0.9988	0.9992
10	0.9994	1.0000	0.9994	0.9997	0.9994
20	0.9996	1.0000	0.9998	0.9997	0.9995
30	0.9998	1.0000	1.0000	1.0003	0.9998



Şekil 3.31. Model Aşure ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerlerinin zamana bağlı değişimi

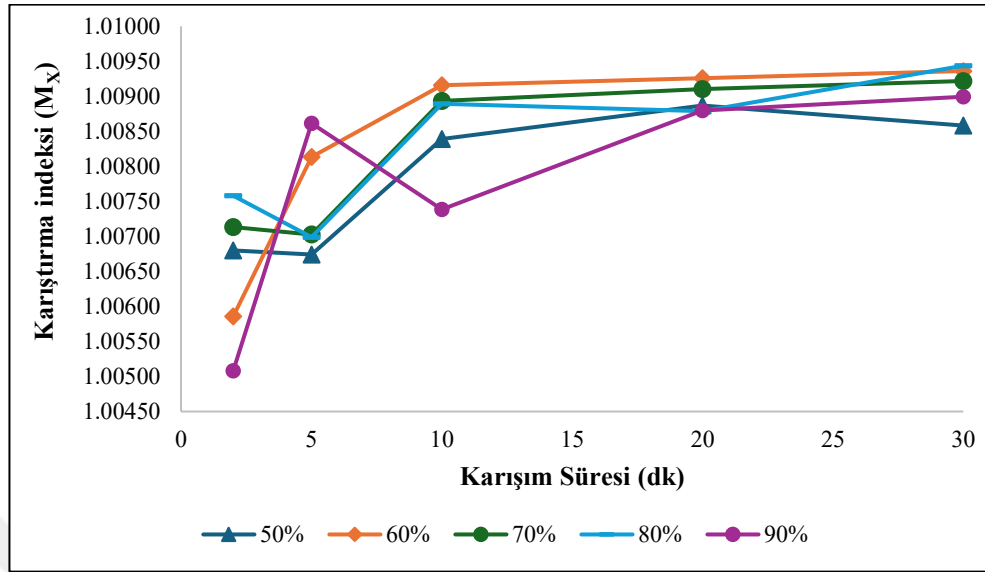
Model aşure ürünü için Lacey karıştırma indeksine ilave olarak X^2 (ki-kare) değerleri kullanılarak karıştırma (M_X) ve ayrışma (S_X) indeksleri de hesaplanmıştır. Deneysel veriler ile hedeflenen reçete değerleri kullanılarak X^2 hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.76’da listelenmiştir. Dört bileşenden oluşan aşure serbestlik derecesi 3 (4-1) olarak belirlenmiştir. Her bir karışım için 5 gözlem yapılmış ve dolayısı ile toplam serbestlik derecesi $5 \times 3 = 15$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer tam karışımın sağlandığı X_r^2 (rastsal karışım) değeri olarak kullanılmıştır. Analizlerde bileşen miktarları 100 g ürün içerisinde bulunan miktarlar olduğundan X_0^2 (tam ayrılmış karışım) değeri 1500 (15×100) olarak kabul edilmiştir. X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin rastsal karışımı ifade eden $X_r^2 = 15$ değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısı ile ki-kare ayrışma indeksleri negatif ve karıştırma indeksleri 1’in üzerinde bulunmuştur. Ayrışma indeksleri genel olarak artan karışım sürelerinde düşüş göstermiştir. Negatif olarak tespit edilen değerler 0 olarak kabul edilmiş ve tam karışımın sağlandığı varsayılmıştır. Tablo 3.76’da verilen X^2 değerleri kullanılarak karıştırma ve ayrışma indeksleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3.77 – 3.78’de yer almış ve Şekil 3.33 ile 3.34’te görselleştirilmiştir.

Tablo 3.76. Model Aşure ürününe ait ki-kare (X^2) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	4.9037	6.3021	4.4089	3.7424	7.4557
5	4.9883	2.9163	4.5647	4.6195	2.2066
10	2.5410	1.3992	1.7330	1.7946	4.0294
20	1.8288	1.2521	1.4805	1.9492	1.9357
30	2.2543	1.0967	1.3083	0.9845	1.6424

Tablo 3.77. Model Aşure ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

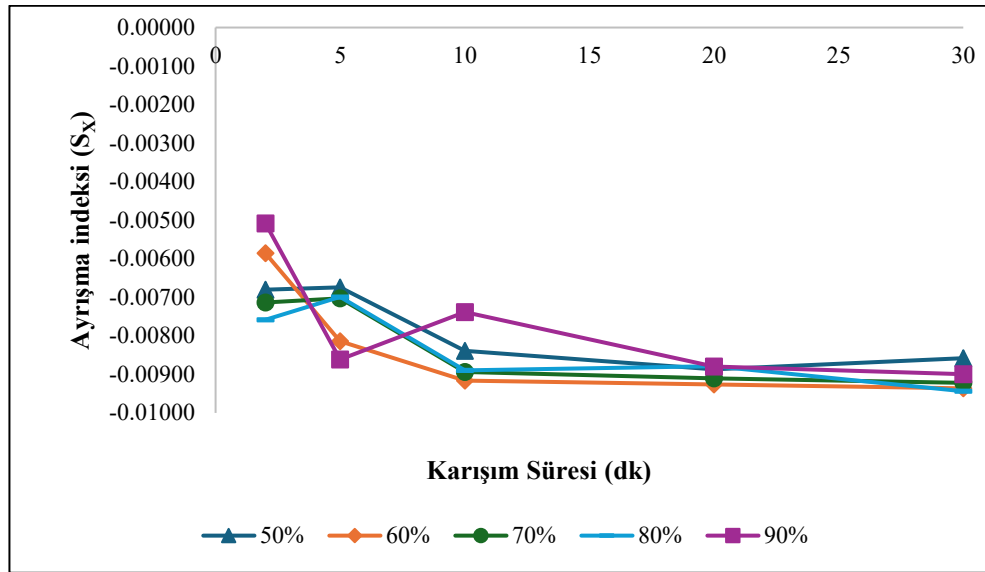
Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	1.00680	1.00586	1.00713	1.00758	1.00508
5	1.00674	1.00814	1.00703	1.00699	1.00862
10	1.00839	1.00916	1.00893	1.00889	1.00739
20	1.00887	1.00926	1.00910	1.00879	1.00880
30	1.00858	1.00936	1.00922	1.00944	1.00900



Şekil 3.32. Model Aşure ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_x) değerleri

Tablo 3.78. Model Aşure ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_x) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Doluluk Oranı (%)				
	50	60	70	80	90
2	-0.00680	-0.00586	-0.00713	-0.00758	-0.00508
5	-0.00674	-0.00814	-0.00703	-0.00699	-0.00862
10	-0.00839	-0.00916	-0.00893	-0.00889	-0.00739
20	-0.00887	-0.00926	-0.00910	-0.00879	-0.00880
30	-0.00858	-0.00936	-0.00922	-0.00944	-0.00900



Şekil 3.33. Model Aşure ürününe ait ki-kare ayırışma indeksi (S_x) değerleri

3.4.5.2. Model Aşure Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

3.4.5.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon

Diğer model ürünlerde olduğu gibi model aşure ürünü de Taguchi L_{25} ortogonal diziliminde bileşenlerin ortalama değerleri ve CV miktarları açısından analiz edilmiştir. Doluluk oranı ve karışım süresinin etkisinin incelendiği yöntemde bileşenlerin ortalama miktarları “hedef değer – en iyi” ve CV değerleri de “en küçük – en iyi” prensibi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Taguchi yönteminden elde edilen S/N oranı değerleri Tablo 3.79 (a ve b)’de ve Şekil 3.34 – 3.35’te verilmiştir. S/N oranlarının en yüksek değerlerinden oluşan tepkiler de Tablo 3.80’de gösterilmiştir.

Tablo 3.80’de yer alan değerler ve ilgili şekiller incelendiğinde bileşenlerin ortalama miktarları içinde DO faktörü için en büyük katkı %52.35 ile fasulye tarafından, KS faktörü için %85.61 katkı ile nohut tarafından meydana gelmiştir. Dolayısı ile ortalama miktarlar için optimum noktalar %80 doluluk ve 30 dk karışım süresi olmuştur. Bileşenlerin CV değerleri için de benzer hesaplamalar yapılmış ve karışımın optimum noktası yine %80 doluluk oranında 30 dakikalık karışımı göstermiştir. S/N oranlarının en yüksek değerleri hem ortalama miktarlar hem de %CV değerleri için aynı nokta olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu seviyeler Taguchi metodunun genel optimum seviyeleri olarak değerlendirilmiştir.

Tablo. 3.79.(a) Model Aşure ürün karışımına ait ortalama miktar deneysel sonuçları ve Taguchi metodu S/N oranları

Faktör/Seviye		Deneysel Sonuçlar				Taguchi S/N oranı			
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar (%)				Ortalama Miktar (%)			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	13.600	18.579	19.155	48.667	15.622	18.488	23.767	20.454
50	5	13.284	18.601	17.780	50.334	16.962	28.033	16.296	24.711
50	10	13.383	18.996	20.561	47.060	21.421	24.028	24.259	24.726
50	20	13.662	18.587	18.707	49.044	21.339	24.093	22.547	28.066
50	30	13.074	19.662	18.309	48.955	20.081	23.970	22.504	32.361
60	2	13.532	17.487	17.542	51.439	22.063	18.881	17.960	22.868
60	5	13.124	18.306	19.886	48.684	18.633	19.146	23.270	33.709
60	10	13.489	18.997	18.997	48.517	21.232	24.922	23.866	31.201
60	20	13.693	19.390	19.629	47.289	23.795	26.976	23.811	28.210
60	30	14.211	18.830	19.307	47.652	23.604	27.011	21.987	30.392
70	2	13.852	18.918	18.103	49.445	18.528	18.879	18.720	23.112
70	5	13.831	17.096	19.223	49.850	25.109	18.119	20.590	22.514
70	10	13.899	19.332	18.597	48.172	20.357	29.365	22.896	25.038
70	20	13.531	18.932	19.131	48.406	25.576	22.433	24.340	27.449
70	30	14.701	19.583	19.264	46.452	22.059	28.898	25.409	27.601
80	2	12.857	19.376	19.916	47.851	15.976	19.722	24.654	25.858
80	5	13.304	20.437	20.897	45.362	18.179	20.513	27.888	24.168
80	10	13.453	18.794	18.876	48.877	18.769	23.913	36.593	27.365
80	20	13.250	19.964	18.869	47.918	22.949	22.635	25.481	26.657
80	30	14.008	19.669	19.630	46.693	23.060	26.070	28.134	33.556
90	2	14.497	18.492	20.667	46.344	15.490	20.776	15.173	20.762
90	5	13.887	18.441	19.454	48.218	18.802	24.543	21.684	26.182
90	10	12.128	19.675	20.493	47.704	18.528	23.174	23.060	27.517
90	20	13.752	19.751	18.197	48.300	21.471	23.827	26.614	25.157
90	30	13.963	19.953	19.177	46.907	20.280	25.006	24.031	28.644

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

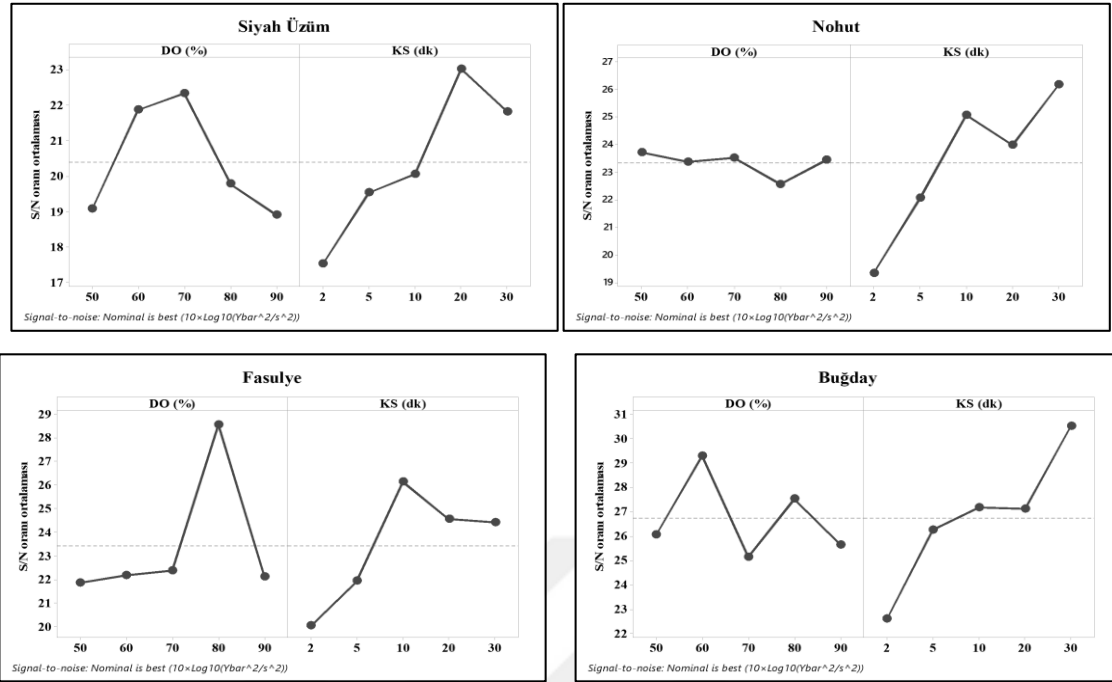
Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen optimum noktayı göstermektedir.

Tablo. 3.79.(b) Model Aşure ürününe ait CV(%) değerleri deneysel sonuçları ve Taguchi metodu S/N oranları

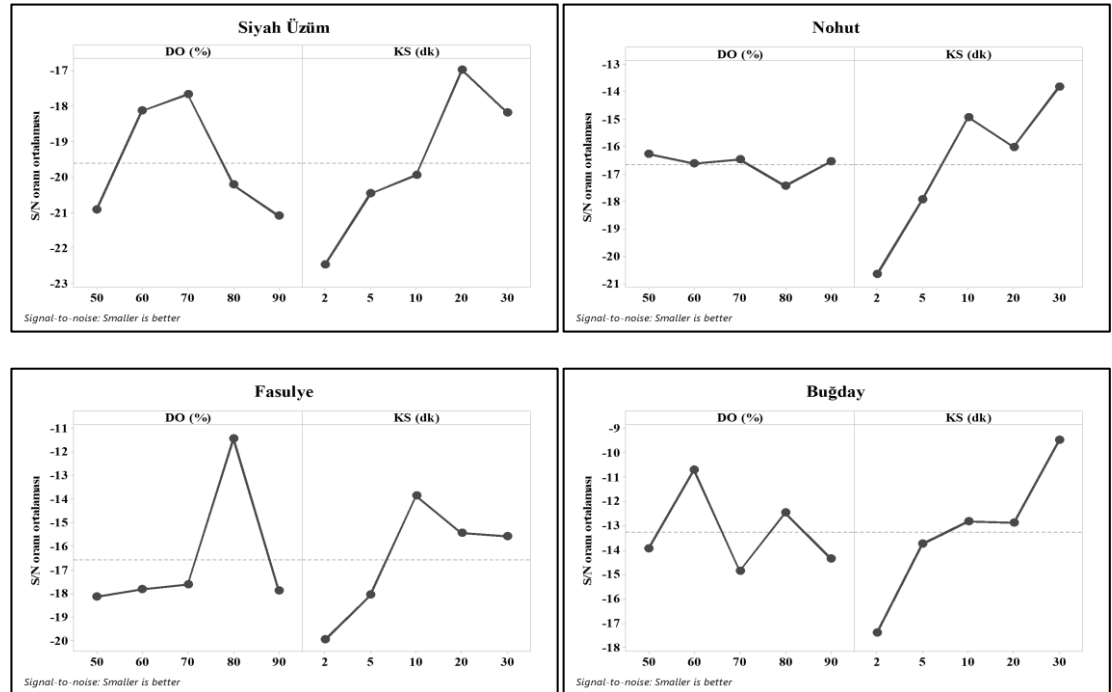
Faktör/Seviye		Deneysel Sonuçlar				Taguchi S/N oranı			
DO (%)	KS (dk)	CV (%)				CV (%)			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	16.553	11.902	6.481	9.491	-24.378	-21.512	-16.233	-19.546
50	5	14.187	3.966	15.317	5.814	-23.038	-11.967	-23.704	-15.289
50	10	8.491	6.289	6.124	5.803	-18.579	-15.972	-15.741	-15.274
50	20	8.571	6.242	7.458	3.951	-18.661	-15.907	-17.453	-11.934
50	30	9.907	6.331	7.496	2.410	-19.919	-16.030	-17.496	-7.639
60	2	7.886	11.375	12.647	7.187	-17.937	-21.119	-22.040	-17.132
60	5	11.705	11.033	6.863	2.063	-21.367	-20.854	-16.730	-6.291
60	10	8.678	5.674	6.408	2.754	-18.768	-15.078	-16.134	-8.799
60	20	6.460	4.479	6.449	3.886	-16.205	-13.024	-16.189	-11.790
60	30	6.604	4.461	7.956	3.023	-16.396	-12.989	-18.013	-9.608
70	2	11.846	11.378	11.588	6.988	-21.472	-21.121	-21.280	-16.888
70	5	5.553	12.418	9.343	7.487	-14.891	-21.881	-19.410	-17.486
70	10	9.597	3.402	7.165	5.599	-19.643	-10.635	-17.104	-14.962
70	20	5.262	7.557	6.067	4.242	-14.424	-17.567	-15.660	-12.551
70	30	7.890	3.590	5.365	4.168	-17.941	-11.102	-14.591	-12.399
80	2	15.893	10.326	5.852	5.095	-24.024	-20.278	-15.346	-14.142
80	5	12.333	9.426	4.033	6.189	-21.821	-19.487	-12.112	-15.832
80	10	11.523	6.373	1.480	4.283	-21.231	-16.087	-3.407	-12.635
80	20	7.121	7.383	5.321	4.647	-17.051	-17.365	-14.519	-13.343
80	30	7.031	4.972	3.920	2.100	-16.940	-13.930	-11.866	-6.444
90	2	16.807	9.146	17.432	9.161	-24.510	-19.224	-24.827	-19.238
90	5	11.479	5.927	8.238	4.908	-21.198	-15.457	-18.316	-13.818
90	10	11.846	6.939	7.031	4.209	-21.472	-16.826	-16.940	-12.483
90	20	8.442	6.436	4.670	5.523	-18.529	-16.173	-13.386	-14.843
90	30	9.682	5.619	6.287	3.697	-19.720	-14.994	-15.969	-11.356

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen optimum noktayı göstermektedir.



Şekil 3.34. Model Aşure ürünüde bileşenlerin ortalama miktarlarına ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları



Şekil 3.35. Model Aşure ürünüde bileşenlerin CV değerlerine ait S/N oranlarının faktör ve seviyelere göre durumları

Tablo 3.80. Aşure ürünü için Taguchi yönteminde faktör/seviyelere göre S/N oranları

a) Ortalama Miktar (%) için S/N oranları b) % CV için S/N oranları

a)	S.Üzüm		Nohut		Fasulye		Buğday	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	19.08	17.54	23.72	19.35	21.87	20.05	26.06	22.61
2	21.87	19.54	23.39	22.07	22.18	21.95	29.28	26.26
3	22.33	20.06	23.54	25.08	22.39	26.13	25.14	27.17
4	19.79	23.03	22.57	23.99	28.55	24.56	27.52	27.11
5	18.91	21.82	23.47	26.19	22.11	24.41	25.65	30.51
Fark	3.41	5.49	1.15	6.84	6.68	6.08	4.13	7.9
Sıra	2	1	2	1	1	2	2	1
% Katkı	38.31	61.69	14.39	85.61	52.35	47.65	34.33	65.67

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 4 (%80) ve KS (dk): 5 (30 dk)

b)	S.Üzüm		Nohut		Fasulye		Buğday	
Seviye	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)
1	-20.92	-22.46	-16.28	-20.65	-18.13	-19.95	-13.936	-17.389
2	-18.13	-20.46	-16.61	-17.93	-17.82	-18.05	-10.724	-13.743
3	-17.67	-19.94	-16.46	-14.92	-17.61	-13.87	-14.857	-12.831
4	-20.21	-16.97	-17.43	-16.01	-11.45	-15.44	-12.479	-12.892
5	-21.09	-18.18	-16.53	-13.81	-17.89	-15.59	-14.348	-9.489
Fark	3.41	5.49	1.15	6.84	6.68	6.08	4.13	7.9
Sıra	2	1	2	1	1	2	2	1
% Katkı	38.31	61.69	14.39	85.61	52.35	47.65	34.33	65.67

Optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 4 (%80) ve KS (dk): 5 (30 dk)

Genel optimum Karışım Seviyeleri: DO (%): 4 (%80) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler Taguchi metodu ile belirlenen en yüksek S/N oranını göstermektedir.

3.4.5.2.2. Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Taguchi metodu ile kriter ağırlıklandırma işlemi her bir bileşen için her bir parametre seviyesinde Delta (fark) tespit edilerek saptanmıştır. Bu amaçla Tablo 3.80’de belirtilen değerler esas alınmıştır. Bileşenlerden siyah üzüm için delta değerleri, ortalama değerler S/N oranı tablosunda DO faktörü için 3.41 ve KS kriteri için 5.49 olarak tespit edilmiş ve toplamı 8.90 olarak hesaplanmıştır. Bu tabloda belirtilen % katkı her bir delta değerinin toplam deltaya bölünmesiyle bulunmuştur. Diğer bileşenler için de benzer hesaplamalar yapılarak Tablo 3.81’de listelenen kriter ağırlıkları saptanmıştır. Aşure ürünü için fasulye bileşeninin katkısı hem ortalama miktar hem CV değerleri için %15.31 olmuş ve en fazla katkı meydana getiren bileşen seçilmiştir. %14.43’lük katkı sağlayan buğday bileşeni de kriter ağırlıklandırılmasında ikinci sırada yer almıştır.

Tablo 3.81. Model Aşure ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar (%)				CV (%)			
	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S. Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
Delta	8.90	7.99	12.76	12.03	8.90	7.99	12.76	12.03
% Katkı	10.68	9.58	15.31	14.43	10.68	9.58	15.31	14.43
Ağırlık (W_i)	0.11	0.10	0.15	0.14	0.11	0.10	0.15	0.14

Kriter ağırlıklandırma işleminin ardından GİA yönteminin ilk aşamasında veriler normalize edilmiştir. Ortalama miktarlar için “hedef değer – en iyi”; CV değerleri için “en küçük – en iyi” prensibi uygulanmış ve ardından uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Normalize veriler matrisi, uzaklık matrisi ve GİK değerler Tablo 3.82’de sunulmuştur. GİK hesaplamasında ayırım katsayısı (ϕ) 0.5 olarak değerlendirilmiştir.

Yöntemin sonraki basamağında GİD hesaplanmıştır. Bu hesaplamada GİK değerleri hem ağırlıksız hem de kriter ağırlıkları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. GİD₀ kriterlerin herhangi bir ağırlık katsayısı olmadan, GİD_T ise Taguchi metoduyla elde edilen kriter ağırlıkları ile ortaya konmuştur (Tablo 3.83). En yüksek GİD değerine sahip nokta hem ağırlıksız hem de Taguchi ağırlıklı yöntemde %60 doluluk oranında 30 dakikalık karışım sonucu elde edilmiştir ve GİD₀ için 0.849, GİD_T için 0.840 değerini almıştır.

Tablo 3.82. (a) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİA normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler							
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar				CV			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	0.682	0.760	0.942	0.726	0.015	0.042	0.628	0.000
50	5	0.536	0.771	0.315	0.289	0.156	0.681	0.121	0.387
50	10	0.582	0.973	0.182	0.854	0.495	0.494	0.649	0.389
50	20	0.711	0.764	0.816	0.627	0.490	0.497	0.572	0.584
50	30	0.439	0.685	0.600	0.650	0.411	0.490	0.570	0.746
60	2	0.651	0.200	0.186	0.000	0.531	0.084	0.275	0.243
60	5	0.462	0.620	0.547	0.721	0.304	0.112	0.606	0.783
60	10	0.631	0.974	0.973	0.765	0.484	0.543	0.632	0.710
60	20	0.725	0.825	0.686	0.914	0.616	0.639	0.630	0.591
60	30	0.965	0.889	0.860	0.991	0.607	0.641	0.544	0.681
70	2	0.799	0.934	0.489	0.522	0.295	0.084	0.335	0.264
70	5	0.790	0.000	0.905	0.416	0.670	0.000	0.464	0.211
70	10	0.821	0.854	0.756	0.855	0.429	0.726	0.589	0.410
70	20	0.650	0.941	0.955	0.794	0.687	0.391	0.652	0.553
70	30	0.808	0.726	0.883	0.695	0.531	0.711	0.692	0.561
80	2	0.338	0.832	0.530	0.939	0.054	0.169	0.664	0.463
80	5	0.545	0.288	0.000	0.409	0.266	0.241	0.769	0.348
80	10	0.614	0.870	0.907	0.671	0.314	0.487	0.915	0.549
80	20	0.520	0.531	0.903	0.922	0.576	0.405	0.695	0.510
80	30	0.871	0.681	0.685	0.758	0.582	0.600	0.775	0.779
90	2	0.902	0.715	0.124	0.666	0.000	0.264	0.000	0.035
90	5	0.815	0.689	0.780	0.843	0.317	0.523	0.527	0.483
90	10	0.000	0.679	0.218	0.978	0.295	0.441	0.597	0.557
90	20	0.753	0.640	0.540	0.822	0.498	0.482	0.732	0.418
90	30	0.851	0.536	0.930	0.814	0.424	0.547	0.639	0.610

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.82. (b) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİA uzaklık matrisi

Faktör/Seviye		Uzaklık Matrisi							
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar				CV			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	0.283	0.215	0.031	0.266	0.672	0.684	0.287	0.783
50	5	0.429	0.203	0.658	0.702	0.531	0.045	0.794	0.395
50	10	0.384	0.001	0.791	0.138	0.192	0.232	0.266	0.394
50	20	0.254	0.210	0.157	0.364	0.197	0.229	0.343	0.199
50	30	0.527	0.289	0.372	0.341	0.276	0.236	0.345	0.037
60	2	0.315	0.774	0.787	0.991	0.156	0.642	0.641	0.540
60	5	0.504	0.354	0.426	0.270	0.383	0.615	0.309	0.000
60	10	0.335	0.000	0.000	0.226	0.203	0.183	0.283	0.073
60	20	0.240	0.150	0.287	0.078	0.071	0.087	0.285	0.192
60	30	0.000	0.086	0.113	0.000	0.080	0.085	0.371	0.101
70	2	0.166	0.041	0.483	0.469	0.392	0.642	0.580	0.519
70	5	0.176	0.974	0.068	0.575	0.017	0.726	0.451	0.571
70	10	0.145	0.120	0.216	0.136	0.258	0.000	0.326	0.373
70	20	0.315	0.033	0.018	0.197	0.000	0.335	0.263	0.230
70	30	0.158	0.248	0.090	0.297	0.156	0.015	0.223	0.222
80	2	0.627	0.142	0.442	0.052	0.633	0.558	0.251	0.319
80	5	0.420	0.686	0.973	0.582	0.421	0.485	0.146	0.435
80	10	0.351	0.104	0.065	0.321	0.372	0.239	0.000	0.234
80	20	0.445	0.444	0.069	0.070	0.111	0.321	0.220	0.272
80	30	0.094	0.293	0.288	0.234	0.105	0.126	0.140	0.004
90	2	0.063	0.259	0.848	0.325	0.687	0.463	0.915	0.748
90	5	0.150	0.285	0.192	0.148	0.370	0.203	0.388	0.300
90	10	0.965	0.295	0.755	0.014	0.392	0.285	0.318	0.226
90	20	0.213	0.335	0.432	0.170	0.189	0.244	0.183	0.365
90	30	0.115	0.438	0.043	0.178	0.263	0.179	0.276	0.172

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.82. (c) Model Aşure ürünü için oluşturulan GİK değerleri

Faktör/Seviye		Gri İlişki Katsayısı							
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar				CV			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	0.638	0.700	0.942	0.653	0.427	0.422	0.635	0.390
50	5	0.538	0.711	0.432	0.416	0.485	0.917	0.386	0.559
50	10	0.566	0.998	0.387	0.784	0.722	0.683	0.652	0.559
50	20	0.663	0.704	0.761	0.578	0.717	0.686	0.593	0.715
50	30	0.487	0.634	0.573	0.594	0.644	0.679	0.592	0.932
60	2	0.614	0.392	0.389	0.335	0.762	0.438	0.438	0.481
60	5	0.498	0.585	0.540	0.649	0.566	0.449	0.618	1.000
60	10	0.599	1.000	1.000	0.688	0.711	0.732	0.639	0.873
60	20	0.676	0.770	0.635	0.865	0.875	0.852	0.637	0.722
60	30	1.000	0.854	0.816	1.000	0.862	0.854	0.574	0.832
70	2	0.751	0.925	0.509	0.516	0.561	0.438	0.463	0.491
70	5	0.740	0.339	0.881	0.465	0.967	0.408	0.526	0.467
70	10	0.776	0.807	0.698	0.786	0.660	1.000	0.605	0.573
70	20	0.613	0.937	0.966	0.717	1.000	0.599	0.655	0.685
70	30	0.760	0.668	0.848	0.628	0.762	0.971	0.692	0.693
80	2	0.444	0.778	0.531	0.906	0.441	0.473	0.666	0.610
80	5	0.543	0.422	0.340	0.462	0.543	0.508	0.773	0.535
80	10	0.587	0.828	0.884	0.609	0.573	0.676	1.000	0.681
80	20	0.529	0.530	0.878	0.878	0.819	0.609	0.694	0.648
80	30	0.842	0.631	0.635	0.681	0.826	0.798	0.781	0.992
90	2	0.888	0.659	0.371	0.606	0.421	0.519	0.353	0.401
90	5	0.769	0.637	0.722	0.771	0.575	0.711	0.563	0.625
90	10	0.341	0.629	0.399	0.973	0.561	0.637	0.611	0.689
90	20	0.701	0.599	0.536	0.747	0.725	0.672	0.732	0.578
90	30	0.813	0.533	0.921	0.738	0.655	0.737	0.645	0.744

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.83. Model Aşure ürünü için belirlenen GİD ve sıralaması

Faktör/Seviye		GİD ₀ Sıra		GİD _T Sıra		GİD _E Sıra	
DO (%)	KS (dk)						
50	2	0.601	19	0.613	18	0.489	23
50	5	0.555	22	0.531	22	0.571	19
50	10	0.669	13	0.652	14	0.648	15
50	20	0.677	11	0.675	11	0.668	13
50	30	0.642	15	0.645	15	0.708	8
60	2	0.481	25	0.471	25	0.504	22
60	5	0.613	16	0.628	16	0.667	14
60	10	0.780	2	0.782	2	0.735	6
60	20	0.754	5	0.745	6	0.750	5
60	30	0.849	1	0.840	1	0.757	4
70	2	0.582	21	0.565	21	0.483	24
70	5	0.599	20	0.604	20	0.560	21
70	10	0.738	7	0.722	9	0.699	9
70	20	0.772	4	0.770	4	0.711	7
70	30	0.753	6	0.746	5	0.769	2
80	2	0.606	17	0.616	17	0.568	20
80	5	0.516	24	0.519	23	0.608	18
80	10	0.730	8	0.743	7	0.768	3
80	20	0.698	10	0.714	10	0.684	11
80	30	0.773	3	0.773	3	0.846	1
90	2	0.527	23	0.509	24	0.418	25
90	5	0.672	12	0.671	12	0.617	17
90	10	0.605	18	0.612	19	0.627	16
90	20	0.661	14	0.660	13	0.677	12
90	30	0.723	9	0.732	8	0.694	10

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi, GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi
Koyu karakterdeki değerler farklı yöntemlerle belirlenen en iyi karışım noktalarını belirtmektedir.

GİA yönteminde optimum karışım faktör ve seviyeleri yeni GİD değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Bu amaçla, %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD₀ (%50) için yeni değer: $(0.601 + 0.555 + 0.669 + 0.677 + 0.629) / 5 = 0.593$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak hesaplanmıştır [GİD₀ (2 dk) için yeni değer: $(0.601 + 0.481 + 0.582 + 0.606 + 0.527) / 5 = 0.559$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler

oluşturulmuştur. Bu yeni değerlerin yer aldığı tablolar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.84 – 3.85).

Tablo 3.84. Model Aşure ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_0 değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.629	0.696	0.689	0.665	0.638	0.067	2
KS (dk)	0.559	0.591	0.704	0.713	0.748	0.189	1
Ortalama	0.663						

Optimum Seviyeler: DO (%): 2 (%60) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

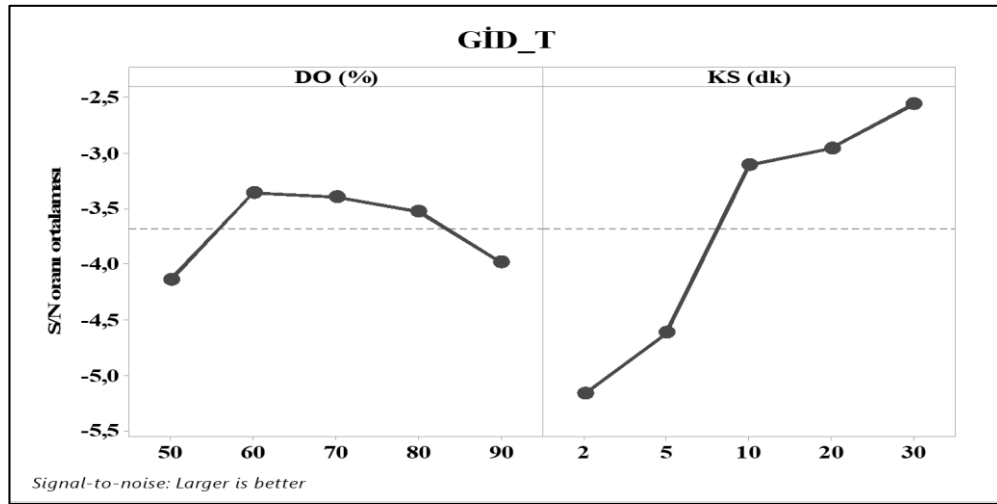
GİA yönteminde elde edilen GID_T değerlerinin S/N oranı değerleri Şekil 3.36'da gösterilmiştir. GID_T grafiği incelendiğinde DO faktörünün 2. ve KS faktörünün 5.seviyesinin en yüksek S/N oranına sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 3.85'teki bilgileri doğrulamış ve optimum faktör seviyeleri olarak kaydedilmiştir.

Tablo 3.85. Model Aşure ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GID_T değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
DO (%)	0.623	0.693	0.681	0.673	0.637	0.070	2
KS (dk)	0.555	0.591	0.702	0.713	0.747	0.192	1
Ortalama	0.661						

Optimum Seviyeler: DO (%): 2 (%60) ve KS (dk): 5 (30 dk)

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.



Şekil 3.36. Model Aşure ürünü için GİA yönteminde elde edilen GİD_T değerlerinin faktör ve seviyelere göre S/N oranı değerleri

Gri İlişkisel Analiz yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.86 ile 3.87’de gösterilmiştir. Ağırlıksız GİD değerlerine ait varyans tablosu incelendiğinde DO faktörünün modele etkisi istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$) ancak KS faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerin modele olan etkileri göz önüne alındığında %64.18 katkı ile KS faktörünün daha önemli olduğu ve Tablo 3.84’te yer alan sıralamayla uyum içinde bulunduğu belirlenmiştir. Taguchi ağırlıklı GİA yönteminden elde edilen GİD değerlerine ait varyans analizi sonuçlarında da DO faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemsizken KS faktörünün etkisi önemli tespit edilmiştir. Yine modele olan katkıları açısından değerlendirildiğinde KS faktörünün %63.47 oran ile daha etken bir faktör olduğu gözlenmiştir.

Tablo. 3.86. Model Aşure ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD₀ değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.01757	0.004393	1.20	0.350	8.26
KS (dk)	4	0.13658	0.034145	9.31	0.000	64.18
Hata	16	0.05867	0.003667			27.57
Toplam	24	0.21282				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo. 3.87. Model Aşure ürünüde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_T değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.01803	0.004508	1.15	0.368	8.17
KS (dk)	4	0.14013	0.035033	8.95	0.001	63.47
Hata	16	0.06263	0.003914			28.37
Toplam	24	0.22079				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **DO:** Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

Yönteminin son aşamasında belirlenen genel optimum karışım faktörleri ve seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Denklem 38 kullanılarak yapılan hesaplamalarda ağırlıksız GİD₀ değerinin optimum noktası olan %60 doluluk ve 30 dakikalık karışım süresi için belirlenen GİD değeri 0.780 olmuştur. $[GİD_0 = 0.663 + (0.696 - 0.663) + (0.748 - 0.663) = 0.780]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Model aşure ürünü için %60 doluluk ve 30 dakikalık karışımda elde edilen GİD₀ değeri 0.849 olarak belirlenmiştir.

Taguchi ağırlıklı GİD değerinin optimum seviyeleri de aynı olduğundan %60 doluluk oranı ve 30 dk karışım süresi için tahminlenen değeri 0.779 olmuştur $[GİD_T = 0.661 + (0.693 - 0.661) + (0.747 - 0.661) = 0.779]$. Deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanan optimum noktaya ait GİD_T değeri 0.840 olarak saptanmış ve tahminlenen değerden düşük tespit edilmiştir.

3.4.5.2.3. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Çalışma kapsamında model aşure ürünü için entropi yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklandırılması yapılmış ve GİA yönteminde kullanılmıştır. İlk olarak verilerin normalizasyonu sağlanmıştır. Normalize değerler Tablo 3.88’de sunulmuştur. Entropi (e_j) değerlerinin hesaplanmasında k sabiti $1/\ln(m)$ formülü ile belirlenmiş ve m değeri alternatif sayısını belirtecek şekilde deney sayısı olan 25 olarak seçilmiştir. Entropi değerleri (e_j) ve farklılaşma dereceleri (d_j) Tablo 3.89’da listelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek kriter ağırlığı %33’lük katkısı ile fasulye bileşeninin CV

değerine ait olmuştur. Genel olarak CV değerlerine ait kriter ağırlıkları daha yüksek tespit edilmiş ve toplam ağırlığın %99'unu oluşturmuştur.

Tablo 3.88. Model Aşure ürününde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler							
DO (%)	KS (dk)	Ortalama Miktar				CV			
		S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
50	2	0.0400	0.0390	0.0399	0.0404	0.0659	0.0652	0.0347	0.0761
50	5	0.0391	0.0391	0.0370	0.0418	0.0564	0.0217	0.0819	0.0466
50	10	0.0394	0.0399	0.0428	0.0391	0.0338	0.0344	0.0328	0.0465
50	20	0.0402	0.0391	0.0389	0.0407	0.0341	0.0342	0.0399	0.0317
50	30	0.0385	0.0413	0.0381	0.0407	0.0394	0.0347	0.0401	0.0193
60	2	0.0398	0.0367	0.0365	0.0427	0.0314	0.0623	0.0676	0.0576
60	5	0.0386	0.0385	0.0414	0.0404	0.0466	0.0604	0.0367	0.0165
60	10	0.0397	0.0399	0.0395	0.0403	0.0345	0.0311	0.0343	0.0221
60	20	0.0403	0.0407	0.0409	0.0393	0.0257	0.0245	0.0345	0.0312
60	30	0.0418	0.0396	0.0402	0.0396	0.0263	0.0244	0.0425	0.0242
70	2	0.0407	0.0398	0.0377	0.0411	0.0471	0.0623	0.0620	0.0561
70	5	0.0407	0.0359	0.0400	0.0414	0.0221	0.0680	0.0500	0.0601
70	10	0.0409	0.0406	0.0387	0.0400	0.0382	0.0186	0.0383	0.0449
70	20	0.0398	0.0398	0.0398	0.0402	0.0209	0.0414	0.0324	0.0340
70	30	0.0432	0.0412	0.0401	0.0386	0.0314	0.0197	0.0287	0.0334
80	2	0.0378	0.0407	0.0415	0.0397	0.0632	0.0565	0.0313	0.0409
80	5	0.0391	0.0429	0.0435	0.0377	0.0491	0.0516	0.0216	0.0496
80	10	0.0396	0.0395	0.0393	0.0406	0.0458	0.0349	0.0079	0.0344
80	20	0.0390	0.0420	0.0393	0.0398	0.0283	0.0404	0.0285	0.0373
80	30	0.0412	0.0413	0.0409	0.0388	0.0280	0.0272	0.0210	0.0168
90	2	0.0426	0.0389	0.0430	0.0385	0.0669	0.0501	0.0932	0.0735
90	5	0.0408	0.0388	0.0405	0.0400	0.0457	0.0325	0.0441	0.0394
90	10	0.0357	0.0413	0.0427	0.0396	0.0471	0.0380	0.0376	0.0338
90	20	0.0405	0.0415	0.0379	0.0401	0.0336	0.0352	0.0250	0.0443
90	30	0.0411	0.0419	0.0399	0.0390	0.0385	0.0308	0.0336	0.0296

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

Tablo 3.89. Model Aşure ürününde Taguchi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar (%)				CV (%)			
	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S. Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
Entropi (e_j)	0.99978	0.99976	0.99969	0.99989	0.98432	0.97877	0.96950	0.97660
Farklılaşma derecesi (d_j)	0.00022	0.00024	0.00031	0.00011	0.01568	0.02123	0.03050	0.02340
Ağırlık (w_j)	0.00245	0.00266	0.00341	0.00125	0.17099	0.23150	0.33258	0.25516

Entropi ağırlıklı kriter ağırlıkları belirlendikten sonra GİD hesaplaması yapılmıştır. Bu amaçla Tablo 3.82(c)'de yer alan GİK değerleri her bir bileşene ait kriter ağırlığı ile çarpılarak toplanmıştır. Elde edilen GİD_E değerleri ve en yüksek değerden başlanarak yapılan sıralama Tablo 3.83'te listelenmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde en yüksek GİD_E değeri 0.846 ile %80 doluluk ve 30 dakikalık karışımında elde edilmiştir.

Entropi ağırlıklı GİA yönteminin optimum koşulları belirlemek amacıyla faktörler ve seviyelerin yeni GİD değerleri hesaplanmıştır. Bu adımda %50 doluluk oranında 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri belirlenmiştir. [GİD_E (%50) için yeni değer: $(0.489 + 0.571 + 0.648 + 0.668 + 0.708) / 5 = 0.617$]. Diğer doluluk oranları için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 5 farklı mikser doluluk oranında kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD_E (2 dk) için yeni değer: $(0.489 + 0.504 + 0.483 + 0.568 + 0.418) / 5 = 0.493$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerler Tablo 3.90'da yer almıştır. Bulgular mikserin doluluk oranı için 2. ve karışım süresi için 4.seviyenin optimum olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.90. Model Aşure ürününde faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD_E değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark Mak-min	Sıralama
	1	2	3	4	5		
DO (%)	0.617	0.683	0.644	0.695	0.607	0.088	2
KS (dk)	0.493	0.605	0.695	0.698	0.755	0.262	1
Ortalama	0.649						
Optimum Seviyeler: DO (%): 4 (%80) ve KS (dk): 5 (30 dk)							

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi
Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

GİA yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.91’de gösterilmiştir. Tablodaki veriler ışığında mikserin doluluk oranının ve karışım süresinin GİD değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerden karışım süresinin modele olan katkısı %80.44 olarak tespit edilmiş ve en önemli faktör olmuştur. Belirlenen parametrelerle modelin %92’lik büyük bir kısmı açıklanabilmiştir. Varyans analizi sonuçları Tablo 3.90’da yer alan sonuçları desteklemiştir.

Tablo. 3.91. Model Aşure ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_E değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
DO (%)	4	0.03050	0.007626	5.87	0.004	11.63
KS (dk)	4	0.21092	0.052729	40.61	0.000	80.44
Hata	16	0.02077	0.001298			7.92
Toplam	24	0.26220				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KTO: Kareler Toplamının Ortalaması DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

GİA yönteminin son aşamasında genel optimum karışım seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. GİD_E değeri, optimum nokta olarak belirlenen %80 doluluk ve 30 dakikalık karışım süresi için 0.801 olarak hesaplanmıştır. $[GİD_E = 0.649 + (0.695 - 0.649) + (0.755 - 0.649) = 0.801]$. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Aşure ürünü için %80 doluluk ve 30 dakikalık karışım elde edilen GİD_E değeri 0.846 olarak belirlenmiş ve tahmini değere yakın bulunmuştur.

Model aşure ürününde belirlenen optimum karışım noktaları ve bu noktalardaki deneysel sonuçlara ait veriler Tablo 3.92’de özetlenmiştir. Yöntemlerden ağırlıksız GİA ve Taguchi ağırlıklı GİA sonuçları aynı faktör/seviyeyi optimum olarak işaret ederken, Taguchi yönteminden elde edilen optimum nokta entropi ağırlıklı GİA sonucuyla aynı olmuştur. Tespit edilen optimum koşullarda elde edilen deneysel verilerin hepsi gerek ortalama miktarlar gerekse CV değerleri yönünden kabul edilebilir seviyede bulunmuştur.

Tablo 3.92. Model Aşure ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Yöntem	Optimum Fak./Sev.		Ortalama Miktar				CV			
	DO (%)	KS (dk)	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday	S.Üzüm	Nohut	Fasulye	Buğday
Taguchi	80	30	14.008	19.669	19.630	46.693	7.031	4.972	3.920	2.100
Entropi Ağırlıklı GİA										
GİA (ağırlıksız)	60	30	14.211	18.830	19.307	47.652	6.604	4.461	7.956	3.023
Taguchi Ağırlıklı GİA										

DO: Mikser Doluluk Oranı, KS: Karışım Süresi

3.4.6. Model Toz İçecek Ürün Karışımı Analizi

Model toz içecek ürününde karışımı etkileyen parametreleri incelemek amacıyla askorbik asit, sitrik asit ve şeker bileşenleri reçete miktarları göz önüne alınarak üç farklı karıştırıcı (mikser) tipinde karıştırılmıştır. Bu amaçla V3L, V8L ve mutfak tipi robot kullanılmıştır. Bileşenlerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.93'te sunulmuştur. Tüm karıştırıcılarda %50 doluluk oranında 2, 5, 10, 20 ve 30 dakikalık karışım sürelerinde ürünler hazırlanarak analiz edilmiştir. HPLC cihazında ürünlerin askorbik asit ve sitrik asit miktarları belirlendikten sonra örnek miktarından çıkarılarak şeker miktarı hesaplanmıştır. Bu üç farklı mikser ile bileşenlerin ortalama miktarlarına ait değerler Tablo 3.94'te verilmiştir. Toz içecek ürününün karışımında mikser tipi, karışım süresi ve bu iki parametrenin etkileşiminin bileşenlerin miktarları üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Tablo 3.93. Model Toz İçecek ürün bileşenlerinin fiziksel özellikleri

Parametre	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker
Ortalama partikül boyutu, d_{50} (mm)	0.274	0.452	0.594
Dökme yığın yoğunluğu (g/cm^3)	0.818	0.882	0.898
Partikül yoğunluğu (g/cm^3)	1.685	1.649	1.589

Model toz içecek ürününde reçete miktarları göz önüne alındığında askorbik asit içeriğinin 100g ürün içinde ortalama $10.53 \text{ g} \pm \%10$ olması beklenmektedir. Dolayısı ile alt ve st sınırı ile $\%9.477$ ve $\%11.583$ değerleri askorbik asit bileşeninin toz içecek model ürünü içinde homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Tablo 3.94 incelendiğinde V3L mikseri için 5, 10, 20 ve 30 dakikalık karışım sürelerinde askorbik asit değerleri kabul sınırlarının dışında kalmıştır. Ayrıca mutfak tipi robot ile yapılan karışım da 30. dakikada askorbik asit değeri ortalama 8.322g olarak hesaplanmış ve alt sınır değeri olan 9.477'in altında kalmıştır. Bu nedenle karışım içindeki homojenliği kaybolmuştur. V8L mikseri için tespit edilen askorbik asit değerleri tüm karışım sürelerinde kabul edilebilir sınırlar içinde yer almıştır. Karışım süresi, mikser tipi ve bu iki faktörün etkileşimi askorbik asitin toz içecek ürünü içerisindeki ortalama miktarlarını anlamlı derecede etkilemiştir ($p<0.05$).

Model toz içecek ürünü içerisindeki sitrik asit bileşeni incelendiğinde (Tablo 3.94) V3L mikseri ile yapılan karışımarda ortalama miktarı $\%23.714$ ile $\%25.950$ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu değerler sitrik asit miktarı için belirlenen ortalama $26.32 \text{ g} \pm \%10$ sınırı içerisinde yer almış ve dolayısı ile sitrik asit model ürün içerisinde homojen bir dağılım gösterebilmiştir. V8L mikseri ile robot kullanılarak yapılan karışımarda da sitrik asit bileşeni homojen dağılımı sağlamıştır. Süre, mikser tipi ve bu iki faktörün etkileşimi sitrik asit bileşeninin ortalama değerlerini istatistiksel olarak anlamlı derecede etkilemiş ve fark oluşturmuştur ($p<0.05$).

Model toz içecek ürününün üçüncü bileşeni olan şeker miktarları da aynı tabloda yer almıştır. Tüm mikser türlerinde şeker bileşeni $63.15 \text{ g} \pm \%10$ değerleri içerisinde yer almıştır. V3L mikserinde şeker miktarları süreye bağlı olarak 64.105 – 67.998g arasında değişmiştir. V8L mikserinde ortalama şeker miktarı en düşük 5 dakikalık karışım süresinde 63.790 g iken en yüksek değer 20.dakikada 65.432g olarak tespit edilmiştir. Mutfak tipi robotta ise ortalama 63.208 – 66.779 g arasında değişmiştir. Her bir mikser tipinde sürenin şeker miktarı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ayrıca mikser tipinin değişmesi de şeker miktarını önemli ölçüde etkilemiştir ($p<0.05$).

Model toz içecek ürününde bileşenlerin süreye bağlı ortalama miktarlarında meydana gelen sapmaya göre hesaplanan CV (%) değerleri şekil 3.37'de gösterilmiştir. Toz içecek

ürününde askorbik asite ait CV değerleri V3L mikserinde tüm süreler için %10'un üzerinde tespit edilmiş ve bu süreler dahilinde toz içeceğin V3L mikserinde homojen karışımı sağlanamamıştır. Askorbik asitin V8L mikseri ve mutfak tipi robot için CV değerleri kabul edilebilir değerlerde bulunmuştur. Sitrik asit ve şeker bileşenlerinin CV değerleri tüm mikser tipleri ve süreler için %10'un altında kalmış ve bu bileşenler için homojen karışımın sağlandığını göstermiştir.

Model toz içecek ürününe ait ortalama miktarlar ve CV değerleri esas alındığında V3L mikserinde homojen karışımı sağlayan en kısa süre tespit edilememiştir. Ancak V8L mikserinde tüm sürelerde gerek ortalama bileşen miktarları ve gerekse CV değerleri homojen karışımın sağlandığını göstermiştir. Dolayısı ile V8L mikserinde toz içecek model karışımının reçeteye uygun hale geldiği en kısa süre 2 dakika olmuştur. Mutfak tipi robotta ise CV değerleri tüm süreler için %10'un altında kalmış olmasına rağmen askorbik asit bileşeninin ortalama miktarı 30. dakikada kabul sınırı dışına çıkmış ve karışım süresinin artması homojen yapıyı bozmuştur. Mutfak tipi robot için model toz içeceğin homojen karıştığı en kısa süre 2 dakika olarak belirlenmiştir.

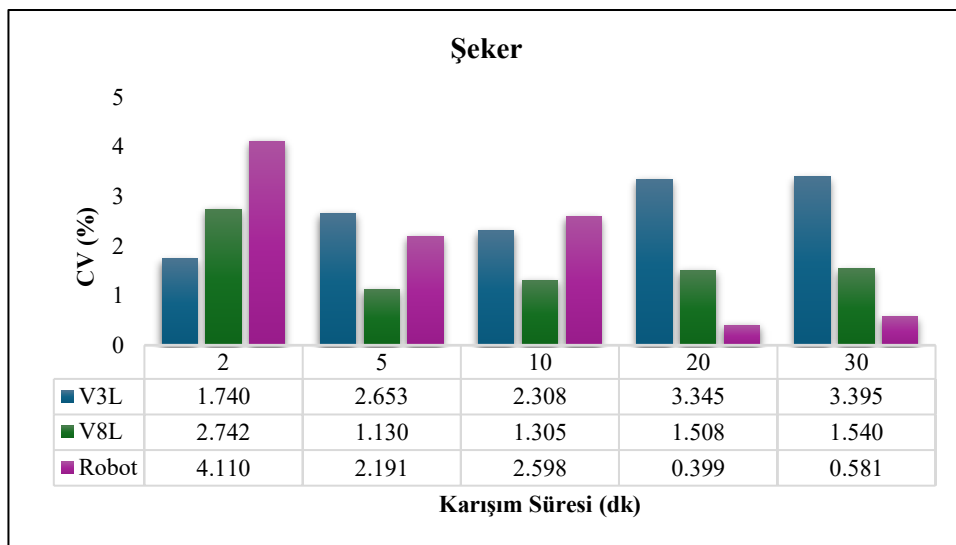
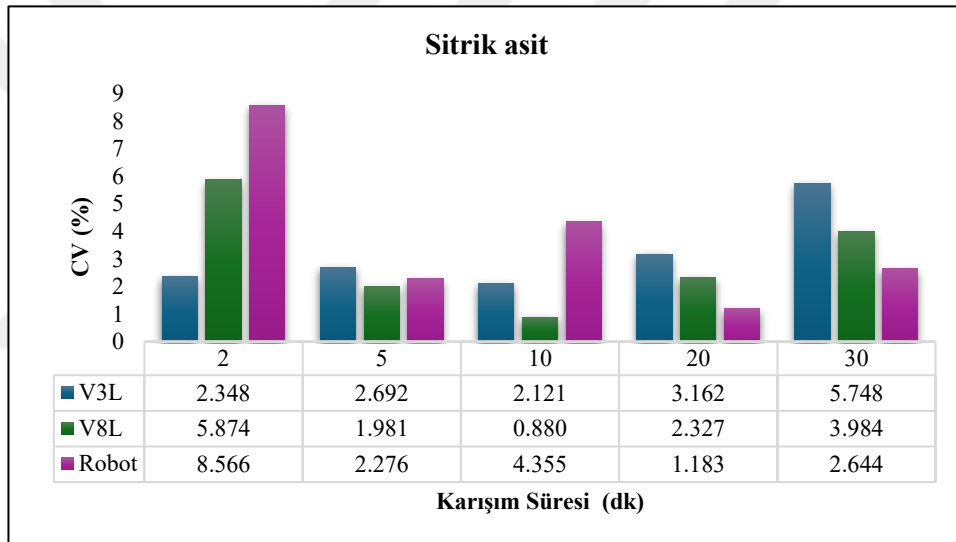
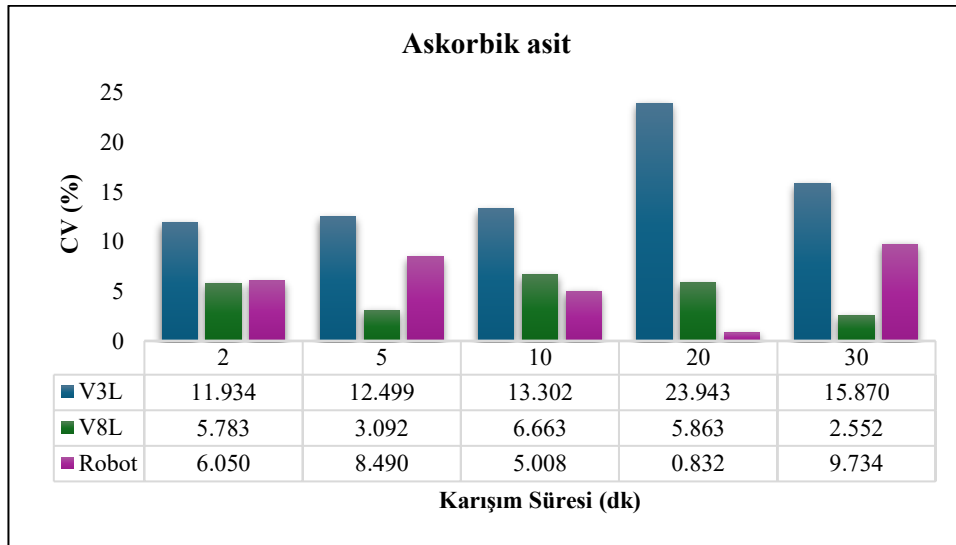
Tablo 3.94. Model Toz İçecek ürün karışımında bileşenlere ait ortalama miktar (%) değerleri

Bileşen	Karışım Süresi (dk)	Karıştırıcı Tipi		
		V3L	V8L	Robot
Askorbik asit	2	9.945 ± 1.187 ^{Aa}	9.638 ± 0.557 ^{Aa}	10.058 ± 0.608 ^{Aa}
	5	9.101 ± 1.138^{Aab}	10.260 ± 0.317 ^{Bab}	9.628 ± 0.817 ^{Aba}
	10	8.166 ± 1.086^{Aab}	9.729 ± 0.648 ^{Ba}	10.347 ± 0.518 ^{Ba}
	20	7.874 ± 1.885^{Ab}	9.692 ± 0.568 ^{Ba}	9.523 ± 0.079 ^{Ba}
	30	8.288 ± 1.315^{Aab}	10.487 ± 0.268 ^{Bb}	8.322 ± 0.810^{Ab}
Sitrik asit	2	25.950 ± 0.609 ^{Aa}	25.794 ± 1.515 ^{Aa}	25.932 ± 2.221 ^{Aa}
	5	25.910 ± 0.697 ^{Aa}	25.950 ± 0.514 ^{Aa}	26.500 ± 0.603 ^{Aa}
	10	23.950 ± 0.508 ^{Ab}	25.359 ± 0.223 ^{Ba}	26.445 ± 1.152 ^{Ca}
	20	24.376 ± 0.771 ^{Ab}	24.876 ± 0.579 ^{Aa}	25.690 ± 0.304 ^{Ba}
	30	23.714 ± 1.363 ^{Ab}	24.843 ± 0.990 ^{Aa}	24.899 ± 0.658 ^{Aa}
Şeker	2	64.105 ± 1.116 ^{Aa}	64.568 ± 1.770 ^{Aab}	64.010 ± 2.631 ^{Aa}
	5	64.989 ± 1.724 ^{Aa}	63.790 ± 0.721 ^{Aa}	63.872 ± 1.399 ^{Aa}
	10	67.884 ± 1.567 ^{Ab}	64.912 ± 0.847 ^{Bab}	63.208 ± 1.642 ^{Ba}
	20	67.749 ± 2.266 ^{Ab}	65.432 ± 0.987 ^{Bb}	64.786 ± 0.258 ^{Bab}
	30	67.998 ± 2.309 ^{Ab}	64.670 ± 0.996 ^{Bab}	66.779 ± 0.388 ^{Ab}

^{a-b}: Aynı sütundaki birbirinden farklı küçük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

^{A-B}: Aynı satırdaki birbirinden farklı büyük harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Koyu karakterdeki değerler homojen karışımın sağlanmadığını ifade etmektedir.



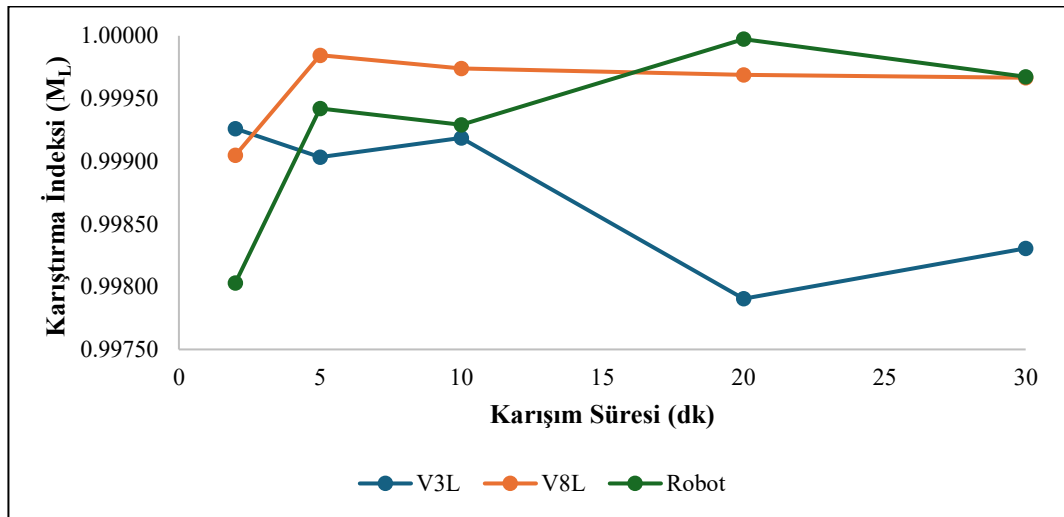
Şekil 3.37. Model Toz İçecek ürünüde bileşenlerin CV değerlerinin faktör/seviyelere göre dağılımları

3.4.6.1. Model Toz İçecek Ürününe Karıştırma ve Ayrıştırma İndeksleri

Model toz içecek ürününe ilk olarak Lacey karıştırma indeksi değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3.95'te ve Şekil 3.38'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm verilerin 0.95'in üzerinde olduğu ve homojen karışımı sağladığı görülmüştür. Ancak her üç mikser tipinde de indeks değerleri düzensiz bir eğilim göstermiştir. En düşük karıştırma indeksi değeri V3L mikseri için 20 dakikalık karışım süresinde tespit edilmişken en yüksek değer robot tipinde 20 dakikada elde edilmiştir.

Tablo 3.95. Model Toz İçecek ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser tipi		
	V3L	V8L	Robot
2	0.99926	0.99905	0.99803
5	0.99903	0.99985	0.99942
10	0.99919	0.99974	0.99929
20	0.99790	0.99969	0.99997
30	0.99831	0.99966	0.99967



Şekil 3.38. Model Toz İçecek ürününe ait Lacey karıştırma indeksi (M_L) değerlerinin zamana bağlı değişimi

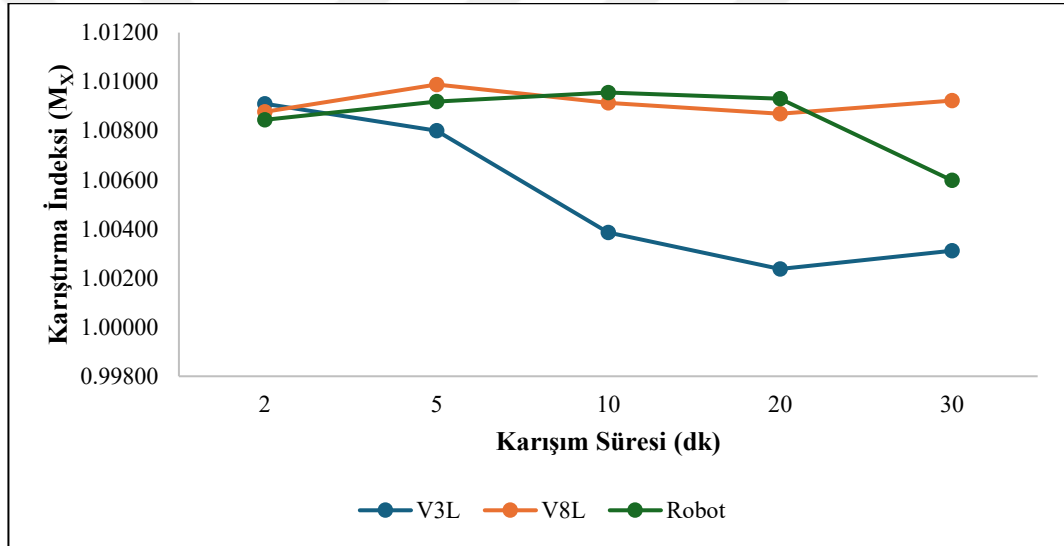
Model toz içecek ürünü için χ^2 (ki-kare) değerleri kullanılarak karıştırma (M_X) ve ayrışma (S_X) indeksleri de hesaplanmıştır. Deneysel veriler ile hedeflenen reçete değerleri kullanılarak χ^2 hesaplaması yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.96’da listelenmiştir. Üç bileşenden oluşan model toz içecek ürünü için serbestlik derecesi 2 (3-1) olarak belirlenmiştir. Her bir karışım için 8 gözlem yapılmış ve dolayısı ile toplam serbestlik derecesi $8 \times 2 = 16$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer tam karışımın sağlandığı χ_r^2 (rastsal karışım) değeri olarak kullanılmıştır. Analizlerde bileşen miktarları 100 g ürün içerisinde bulunan miktarlar olduğundan χ_o^2 (tam ayrışmış karışım) değeri 1600 (16×100) olarak kabul edilmiştir. χ^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin rastsal karışımı ifade eden $\chi_r^2 = 16$ değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısı ile ki-kare ayrışma indeksleri negatif hesaplanmıştır. Ayrışma indeksleri genel olarak artan karışım sürelerinde artış göstermiştir. Negatif olarak tespit edilen değerler 0 olarak kabul edilmiş ve tam karışımın sağlandığı varsayılmıştır. Bu değerler Tablo 3.97 – 3.98’de yer almış ve şekil 3.39 ile 3.40’ta görselleştirilmiştir.

Tablo 3.96. Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare (χ^2) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Tipi		
	V3L	V8L	Robot
2	1.5825	2.0952	2.6273
5	3.3296	0.3400	1.4397
10	9.8877	1.5227	0.8581
20	12.2436	2.2272	1.2513
30	11.0644	1.3747	6.5243

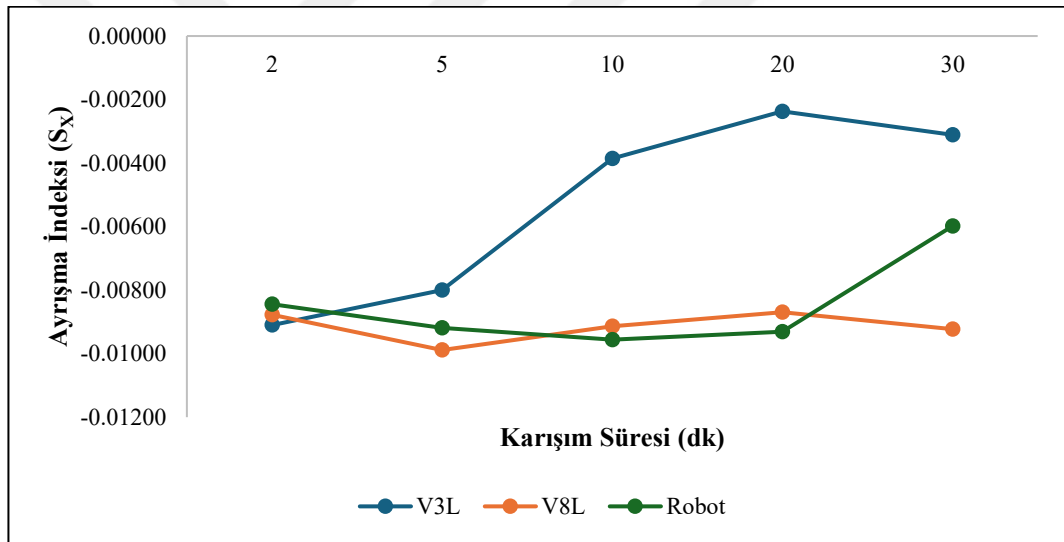
Tablo 3.97. Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Tipi		
	V3L	V8L	Robot
2	1.00910	1.00878	1.00844
5	1.00800	1.00989	1.00919
10	1.00386	1.00914	1.00956
20	1.00237	1.00869	1.00931
30	1.00312	1.00923	1.00598

Şekil 3.39. Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare karıştırma indeksi (M_X) değerleri

Tablo 3.98. Model Toz İçecek ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_x) değerleri

Karışım Süresi (dk)	Mikser Tipi		
	V3L	V8L	Robot
2	-0.00910	-0.00878	-0.00844
5	-0.00800	-0.00989	-0.00919
10	-0.00386	-0.00914	-0.00956
20	-0.00237	-0.00869	-0.00931
30	-0.00312	-0.00923	-0.00598

Şekil 3.40. Model Toz içecek ürününe ait ki-kare ayrışma indeksi (S_x) değerleri

3.4.6.2. Model Toz İçecek Ürününde Karışımı Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

3.4.6.2.1. Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyon

Model toz içecek ürününde mikser tipinin ve karışım süresinin ürün bileşenlerinin ortalama miktar ve CV değerlerine etkisi araştırılmıştır. Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile optimum faktör ve seviyelerin tespiti yapılmıştır. GİA yönteminde kriterlerin ağırlıklandırılması entropi yöntemiyle sağlanmıştır. Sonuçta GİD belirlenmesinde hem ağırlıksız hem de entropi ağırlıklı değerler kullanılmıştır.

Entropi ağırlıklandırma yönteminin ilk aşamasında veri normalizasyonu yapılmıştır. Normalize değerler Tablo 3.99’da sunulmuştur. Entropi (e_j) değerlerinin hesaplanmasında k sabiti $1/\ln(m)$ formülü ile belirlenmiş ve m değeri alternatif sayısını belirtecek şekilde deney sayısı olan 15 olarak seçilmiştir. Entropi değerleri (e_j) ve farklılaşma dereceleri (d_j) Tablo 3.100’de listelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek kriter ağırlığı %41.81’lik katkısı ile askorbik asit bileşeninin CV değerine ait olmuştur. Genel olarak CV değerlerine ait kriter ağırlıkları daha yüksek tespit edilmiş ve toplam ağırlığın %99’unu oluşturmuştur.

Tablo 3.99. Model Toz İçecek ürünüde Entropi yöntemine ait normalize karar matrisi

Faktör/Seviye		Normalize Veriler					
		Ortalama Miktar			CV		
		Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker
V3L	2	0.0705	0.0683	0.0655	0.0907	0.0468	0.0552
V3L	5	0.0645	0.0682	0.0664	0.0950	0.0537	0.0841
V3L	10	0.0579	0.0630	0.0694	0.1011	0.0423	0.0732
V3L	20	0.0558	0.0641	0.0692	0.1819	0.0631	0.1060
V3L	30	0.0588	0.0624	0.0695	0.1206	0.1146	0.1076
V8L	2	0.0683	0.0678	0.0660	0.0439	0.1171	0.0869
V8L	5	0.0727	0.0683	0.0652	0.0235	0.0395	0.0358
V8L	10	0.0690	0.0667	0.0663	0.0506	0.0176	0.0414
V8L	20	0.0687	0.0654	0.0669	0.0445	0.0464	0.0478
V8L	30	0.0743	0.0653	0.0661	0.0194	0.0795	0.0488
Robot	2	0.0713	0.0682	0.0654	0.0460	0.1708	0.1303
Robot	5	0.0683	0.0697	0.0653	0.0645	0.0454	0.0694
Robot	10	0.0734	0.0696	0.0646	0.0380	0.0869	0.0823
Robot	20	0.0675	0.0676	0.0662	0.0063	0.0236	0.0126
Robot	30	0.0590	0.0655	0.0682	0.0740	0.0527	0.0184

KS: Karışım Süresi

Tablo 3.100. Model Toz İçecek ürününde Entropi metodu ile oluşturulan kriter ağırlıkları

Parametre	Ortalama Miktar			CV		
	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker
Entropi (e_j)	0.99855	0.99980	0.99990	0.92202	0.94102	0.95219
Farklılaşma derecesi (d_j)	0.00145	0.00020	0.00010	0.07798	0.05898	0.04781
Ağırlık (w_j)	0.00776	0.00108	0.00054	0.41810	0.31619	0.25632

Kriter ağırlıklandırma işleminin ardından GİA yönteminin ilk aşamasında veriler normalize edilmiştir. Ortalama miktarlar için “hedef değer – en iyi”; CV değerleri için “en küçük – en iyi” prensibi uygulanmış ve ardından uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Normalize veriler matrisi, uzaklık matrisi ve GİK değerler Tablo 3.101’de sunulmuştur. GİK hesaplamasında ayırım katsayısı (ϕ) 0.5 olarak değerlendirilmiştir.

Yöntemin sonraki basamağında GİD hesaplanmıştır. Bu hesaplamada GİK değerleri hem ağırlıksız hem de kriter ağırlıkları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. GİD₀ kriterlerin herhangi bir ağırlık katsayısı olmadan, GİD_E ise entropi metoduyla elde edilen kriter ağırlıkları ile ortaya konmuştur (Tablo 3.102). En yüksek GİD değerine sahip nokta hem ağırlıksız hem de entropi ağırlıklı yöntemde mutfak tipi robot kullanılarak 20 dakikalık karışım sonucu elde edilmiştir ve GİD₀ için 0.805, GİD_E için 0.973 değerini almıştır.

Tablo 3.101. Model Toz İçecek ürünü için oluşturulan GİA değerleri

Faktör/Seviye		Normalize Veriler						Uzaklık Matrisi						Gri İlişki Katsayısı (GİK)					
		Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV			Ortalama Miktar			CV		
Mikser Tipi	KS (dk)	AA	SA	Şeker	AA	SA	Şeker	AA	SA	Şeker	AA	SA	Şeker	AA	SA	Şeker	AA	SA	Şeker
V3L	2	0.780	0.858	0.803	0.520	0.809	0.638	0.204	0.094	0.185	0.480	0.191	0.362	0.710	0.842	0.730	0.510	0.724	0.580
V3L	5	0.462	0.843	0.621	0.495	0.764	0.393	0.522	0.110	0.367	0.505	0.236	0.607	0.489	0.820	0.576	0.498	0.680	0.451
V3L	10	0.110	0.090	0.023	0.460	0.838	0.485	0.874	0.862	0.965	0.540	0.162	0.515	0.364	0.367	0.341	0.481	0.756	0.493
V3L	20	0.000	0.254	0.051	0.000	0.703	0.206	0.984	0.698	0.937	1.000	0.297	0.794	0.337	0.417	0.348	0.333	0.627	0.386
V3L	30	0.156	0.000	0.000	0.349	0.367	0.193	0.828	0.952	0.988	0.651	0.633	0.807	0.377	0.344	0.336	0.435	0.441	0.382
V8L	2	0.664	0.798	0.707	0.786	0.350	0.369	0.320	0.154	0.281	0.214	0.650	0.631	0.610	0.764	0.641	0.700	0.435	0.442
V8L	5	0.898	0.858	0.868	0.902	0.857	0.803	0.085	0.094	0.120	0.098	0.143	0.197	0.854	0.841	0.806	0.836	0.777	0.717
V8L	10	0.698	0.631	0.636	0.748	1.000	0.756	0.285	0.321	0.352	0.252	0.000	0.244	0.637	0.609	0.587	0.665	1.000	0.672
V8L	20	0.684	0.446	0.529	0.782	0.812	0.701	0.299	0.506	0.459	0.218	0.188	0.299	0.625	0.497	0.521	0.697	0.726	0.626
V8L	30	0.984	0.433	0.686	0.926	0.596	0.692	0.000	0.519	0.302	0.074	0.404	0.308	1.000	0.491	0.624	0.870	0.553	0.619
Robot	2	0.822	0.851	0.823	0.774	0.000	0.000	0.161	0.101	0.165	0.226	1.000	1.000	0.756	0.832	0.751	0.689	0.333	0.333
Robot	5	0.660	0.931	0.851	0.669	0.818	0.517	0.324	0.021	0.137	0.331	0.182	0.483	0.607	0.959	0.785	0.601	0.734	0.509
Robot	10	0.931	0.952	0.988	0.819	0.548	0.407	0.053	0.000	0.000	0.181	0.452	0.593	0.905	1.000	1.000	0.735	0.525	0.458
Robot	20	0.621	0.758	0.662	1.000	0.961	1.000	0.363	0.194	0.326	0.000	0.039	0.000	0.579	0.721	0.606	1.000	0.927	1.000
Robot	30	0.169	0.455	0.251	0.615	0.770	0.951	0.815	0.497	0.737	0.385	0.230	0.049	0.380	0.501	0.404	0.565	0.685	0.911

KS: Karışım Süresi, AA: Askorbik asit, SS: Sitrik asit

Tablo 3.102. Model Toz İçecek ürünü için belirlenen GİD değerleri ve sıralaması

Faktör/Seviye					
Mikser Tipi	KS (dk)	GİD ₀	Sıra	GİD _E	Sıra
V3L	2	0.683	7	0.598	9
V3L	5	0.586	11	0.544	12
V3L	10	0.467	13	0.570	10
V3L	20	0.408	14	0.440	14
V3L	30	0.386	15	0.423	15
V8L	2	0.599	10	0.549	11
V8L	5	0.805	2	0.787	2
V8L	10	0.695	5	0.772	3
V8L	20	0.615	9	0.687	6
V8L	30	0.693	6	0.706	4
Robot	2	0.616	8	0.486	13
Robot	5	0.699	4	0.620	7
Robot	10	0.770	3	0.599	8
Robot	20	0.805	1	0.973	1
Robot	30	0.574	12	0.690	5

KS: Karışım Süresi, **GİD₀:** Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, **GİD_E:** Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi
Koyu karakterdeki değerler farklı yöntemlerle belirlenen en iyi karışım noktalarını belirtmektedir.

GİA yönteminde faktör ve seviyelerin yeni GİD değerleri ile optimum karışım noktaları tespit edilmiştir. Bu işlem için, V3L mikseri için 5 farklı süre için tespit edilen GİD değerlerinin ortalaması alınarak yeni GİD değeri olarak kaydedilmiştir [GİD₀ (V3L) için yeni değer: $(0.683 + 0.586 + 0.467 + 0.408 + 0.386) / 5 = 0.506$]. Diğer mikser tipleri için de aynı işlemler tekrarlanmıştır. Ardından karışım süresinin ilk seviyesi olan 2 dk için 3 farklı mikser tipinde kaydedilen GİD değerlerinin ortalaması yeni GİD değeri olarak hesaplanmıştır [GİD₀ (2 dk) için yeni değer: $(0.683 + 0.599 + 0.616) / 3 = 0.632$]. Diğer karışım süreleri için de benzer işlemler yapılarak yeni değerler oluşturulmuştur. Bu yeni değerlerin yer aldığı tablolar aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.103 – 3.104).

Tablo 3.103. Model Toz İçecek ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD₀ değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
Mikser Tipi	0.506	0.681	0.693	-	-	0.187	1
KS (dk)	0.632	0.697	0.644	0.610	0.551	0.146	2
Ortalama	0.627						

Optimum Seviyeler: Mikser Tipi: 3 (Robot) ve KS (dk): 2 (5 dk)

KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

Tablo 3.104. Model Toz İçecek ürününe faktör ve seviyelerin Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni GİD_E değerleri

Faktör	Seviyeler					Fark	Sıralama
	1	2	3	4	5	Mak-min	
Mikser Tipi	0.515	0.700	0.674			0.186	1
KS (dk)	0.544	0.650	0.647	0.700	0.606	0.156	2
Ortalama	0.630						

Optimum Seviyeler: Mikser Tipi: 2 (V8L) ve KS (dk): 4 (20 dk)

KS: Karışım Süresi

Koyu karakterdeki değerler optimum seviyeleri belirtmektedir.

Gri İlişkisel Analiz yönteminde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3.105 ile 3.106'da gösterilmiştir. Ağırlıksız GİD değerlerine ait varyans tablosu incelendiğinde KS faktörünün modele etkisi istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0.05$) ancak mikser tipi faktörünün etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Faktörlerin modele olan etkileri göz önüne alındığında %46.08 katkı ile mikser tipi faktörünün daha önemli olduğu ve Tablo 3.103'te yer alan sıralamayla uyum içinde bulunduğu belirlenmiştir. Entropi ağırlıklı GİA yönteminden elde edilen GİD değerlerine ait analiz sonuçlarında ise iki faktörün etkisi de istatistiksel olarak önemsiz

($p>0.05$) tespit edilmiştir. Yine modele olan katkıları açısından değerlendirildiğinde mikser tipinin %34 oran ile daha etken bir faktör olduğu gözlenmiştir.

Tablo. 3.105. Model Toz İçecek ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD₀ değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
Mikser Tipi	4	0.10995	0.054974	4.64	0.046	46.08
KS (dk)	4	0.03378	0.008445	0.71	0.606	14.16
Hata	16	0.09488	0.011860			39.77
Toplam	24	0.23861				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **KS:** Karışım Süresi

Yönteminin son aşamasında belirlenen genel optimum karışım faktörleri ve seviyelerine ait GİD tahminlemesi yapılmıştır. Denklem 38 kullanılarak yapılan hesaplamalarda ağırlıksız GİD₀ değerinin optimum noktası olan Robot mikser tipinde 5 dakikalık karışım süresi için belirlenen GİD değeri 0.763 olmuştur. [$GİD_0 = 0.627 + (0.693 - 0.627) + (0.697 - 0.627) = 0.763$]. Tahminlenen bu değer deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Toz içecek ürünü için robot ile 5 dakikalık karışımında elde edilen GİD₀ değeri 0.699 olarak belirlenmiştir.

Entropi ağırlıklı GİD değerinin optimum seviyeleri V8L mikserinde 20 dk karışım süresi için tahminlenen değeri 0.771 olmuştur [$GİD_E = 0.630 + (0.700 - 0.630) + (0.700 - 0.630) = 0.771$]. Deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanan optimum noktaya ait GİD_E değeri 0.687 olarak saptanmış ve tahminlenen değerden düşük tespit edilmiştir.

Tablo. 3.106. Model Toz İçecek ürününde GİA yöntemiyle belirlenen GİD_E değerlerine ait ANOVA tablosu

Kaynak	SD	KT	KTO	F-değeri	P-değeri	Katkı (%)
Mikser Tipi	4	0.10071	0.05036	2.62	0.133	34.16
KS (dk)	4	0.04053	0.01013	0.53	0.719	13.75
Hata	16	0.15355	0.01919			52.09
Toplam	24	0.29479				100.00

SD: Serbestlik Derecesi, **KT:** Kareler Toplamı, **KTO:** Kareler Toplamının Ortalaması **KS:** Karışım Süresi,

Model toz içecek ürününde farklı yöntemler kullanılarak belirlenen optimum karışım noktaları ve bu noktalardaki deneysel sonuçlara ait veriler Tablo 3.107’te özetlenmiştir. İki farklı yöntemle belirlenen optimum koşullar birbirinden farklılık göstermiştir. Bileşenlerin ortalama miktar ve CV değerleri incelendiğinde iki optimum noktada da değerlerin kabul edilebilir seviyede olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3.107. Model Toz İçecek ürününde farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Yöntem	Optimum Faktör/Seviye		Ortalama Miktar (%)			CV (%)		
	Mikser Tipi	KS (dk)	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker	Askorbik asit	Sitrik asit	Şeker
GİA (ağırlıksız)	Robot	5	9.628	26.500	63.872	8.490	2.276	2.191
Entropi Ağırlıklı GİA	V8L	20	9.692	24.876	65.432	5.863	2.327	1.508

KS: Karışım Süresi

3.4.7. Model Ürün Karışımlarının Homojenitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

Tez çalışmasının son bölümünde model toz karışımların değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel ve yenilikçi yaklaşımlar arasındaki bağıntıyı incelemek amacıyla her bir model ürün için belirlenen karıştırma/ayırma indeksi değerleri ile Gri İlişkisel Analiz sonucu elde edilen veriler korelasyon analizine tabi tutulmuştur.

Model toz sütlaç ürününde 5^2 tam faktöriyel deneme dizaynı için belirlenen Lacey karıştırma indeksi (M_L), ki-kare karıştırma ve ayırma indeksleri (M_X ve S_X), ki-kare değeri (X^2) ile ağırlıksız, Taguchi ağırlıklı ve Entropi ağırlıklı gri ilişki derecesi değerleri (GID_0 , GID_T ve GID_E) arasındaki ilişkiyi gösteren sonuçlar Tablo 3.108’de verilmiştir. Tablodaki veriler M_L ile GİA sonuçları arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde ki-kare istatistiği ile belirlenen karıştırma ve ayırma indeksleri de ağırlıksız ve Taguchi ağırlıklı GİA sonuçlarıyla güçlü, entropi ağırlıklı GİA sonuçlarıyla orta dereceli bir ilişki meydana getirmiş ve korelasyon katsayıları 0.889 ve 0.879 olarak belirlenmiştir. Lacey karıştırma indeksi değerlerinin ki-kare verileri ile

oldukça güçlü bir etkileşim içinde olduğu aralarındaki 0.910 değerindeki katsayı ile ortaya konmuştur.

Tablo 3.108. Model Toz Sütlaç ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon

Parametre	GİD ₀	GİD _T	GİD _E	M _L	M _X	S _X	X ²
GİD ₀	1.000						
GİD _T	0.973	1.000					
GİD _E	0.702	0.770	1.000				
M _L	0.800	0.815	0.876	1.000			
M _X	0.889	0.879	0.685	0.910	1.000		
S _X	-0.889	-0.879	-0.685	-0.910	-1.000	1.000	
X ²	-0.889	-0.879	-0.685	-0.910	-1.000	1.000	1.000

GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, M_L: Lacey karıştırma indeksi, M_X: ki-kare karıştırma indeksi, S_X: ki-kare ayırma indeksi, X²: ki-kare değeri, Koyu karakterdeki sayılar 0.01 güvenilirlik seviyesinde önemlidir.

Model toz çorba ürününün karışım durumunu incelemek amacıyla hesaplanan ki-kare karıştırma/ayırma indeksi değerlerinin GİA sonuçları ile oluşturduğu korelasyon Tablo 3.109’da listelenmiştir. Model toz sütlaç ürününde elde edilen sonuçlara benzer şekilde, model toz çorba ürünü için belirlenen ağırlıksız ve Taguchi ağırlıklı GİA sonuçlarının ki-kare istatistiği ile elde edilen parametrelerle arasındaki ilişki 0.892 katsayısı ile güçlü bulunmuştur. Entropi ağırlıklı GİA sonucu ise ki-kare karıştırma/ayırma indeksi verileri ile orta dereceli bir korelasyon göstermiştir. Taguchi ağırlıklı GİD değeri ağırlıksız GİD değeri ile tam uyumlu tespit edilmiştir. Bu sonuçların entropi ağırlıklı GİD değeri ile bağıntısı da güçlü olmuştur.

Tablo 3.109. Model Toz Çorba ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon

Parametre	GİD ₀	GİD _T	GİD _E	M _X	S _X	X ²
GİD ₀	1.000					
GİD _T	1.000	1.000				
GİD _E	0.865	0.868	1.000			
M _X	0.852	0.852	0.692	1.000		
S _X	-0.852	-0.852	-0.692	-1.000	1.000	
X ²	-0.852	-0.852	-0.692	-1.000	1.000	1.000

GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, M_X: ki-kare karıştırma indeksi, S_X: ki-kare ayırma indeksi, X²: ki-kare değeri, Koyu karakterdeki sayılar 0.01 güvenirlilik seviyesinde önemlidir.

Model ürün olarak belirlenen toz puding için hesaplanan karıştırma/ayırma indeksleri ile GİA sonuçları arasındaki ilişki Tablo3.110’da ortaya konmuştur. Tabloya göre ağırlıksız, Taguchi ağırlıklı ve Entropi ağırlıklı GİD değerleri ile ki-kare karıştırma/ayırma indeksleri arasında güçlü bir ilişki tespit edilmiş ve aralarındaki korelasyon katsayısı sırası ile 0.786, 0.839 ve 0.798 olarak belirlenmiştir. Gri İlişkisel Analiz sonuçlarının hem ağırlıksız hem de ağırlıklı değerleri birbiriyle oldukça güçlü bir ilişki meydana getirmiştir.

Çalışma kapsamında bileşenlerinin tamamı granüler gıdalardan oluşan model aşure ürünü için tanımlanan korelasyon analizi Tablo 3.111’de verilmiştir. Bu ürün için belirlenen Lacey karıştırma indeksinin (M_L) diğer parametrelerle ilişkisi oldukça zayıf kalmıştır. Diğer taraftan ki-kare karıştırma/ayırma indeksi değerleri ve GİA sonuçları oldukça güçlü bir ilişki meydana getirmiştir. GİD₀ ile GİD_T arasında 0.993 korelasyon katsayısı ile oldukça güçlü olan ilişki, GİD_E değeri ile de güçlü bir ilişki ortaya çıkarmıştır.

Tablo 3.110. Model Toz Puding ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon

Parametre	GİD ₀	GİD _T	GİD _E	M _X	S _X	X ²
GİD ₀	1.000					
GİD _T	0.980	1.000				
GİD _E	0.919	0.936	1.000			
M _X	0.786	0.839	0.798	1.000		
S _X	-0.786	-0.839	-0.798	-1.000	1.000	
X ²	-0.786	-0.839	-0.798	-1.000	1.000	1.000

GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, M_X: ki-kare karıştırma indeksi, S_X: ki-kare ayırma indeksi, X²: ki-kare değeri, Koyu karakterdeki sayılar 0.01 güvenirlik seviyesinde önemlidir.

Tez çalışması kapsamında farklı mikser tipleri ve karışım süresinin incelendiği model toz içecek ürünü için oluşturulan karıştırma indeksleri ile GİA sonuçlarına ait korelasyon analizi Tablo 3.112’de sunulmuştur. Lacey karıştırma indeksi değerinin Entropi ağırlıklı GİA verileriyle olan ilişkisi ağırlıksız GİA sonuçlarına göre daha güçlü bulunmuştur. Diğer taraftan, GİD₀ değerleri ile ki-kare verileri arasında 0.919 korelasyon katsayısı ile güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. GİDE verilerinin ki-kare sonuçları ile olan bağıntısı ise 0.590 katsayı ile orta dereceli olmuştur. Benzer şekilde Lacey karıştırma indeksi ile ki-kare sonuçları arasında da orta dereceli bir ilişki söz konusu olmuştur.

Tablo 3.111. Model Aşure ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon

Parametre	GİD ₀	GİD _T	GİD _E	M _L	M _X	S _X	X ²
GİD ₀	1.000						
GİD _T	0.993	1.000					
GİD _E	0.843	0.854	1.000				
M _L	-0.158	-0.167	-0.107	1.000			
M _X	0.907	0.918	0.918	-0.212	1.000		
S _X	-0.907	-0.918	-0.918	0.212	-1.000	1.000	
X ²	-0.907	-0.918	-0.918	0.212	-1.000	1.000	1.000

GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_T: Taguchi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, M_L: Lacey karıştırma indeksi, M_X: ki-kare karıştırma indeksi, S_X: ki-kare ayırma indeksi, X²: ki-kare değeri, Koyu karakterdeki sayılar 0.01 güvenirlik seviyesinde önemlidir.

Tablo 3.112. Model Toz İçecek ürününün homojenite değerlendirmesinde parametreler arası korelasyon

Parametre	GİD ₀	GİD _E	M _L	M _X	S _X	X ²
GİD ₀	1.000					
GİD _E	0.761	1.000				
M _L	0.712	0.873	1.000			
M _X	0.919	0.590	0.624	1.000		
S _X	-0.919	-0.590	-0.624	-1.000	1.000	
X ²	-0.919	-0.590	-0.624	-1.000	1.000	1.000

GİD₀: Ağırlıksız Gri İlişki Derecesi, GİD_E: Entropi ağırlıklı Gri İlişki Derecesi, M_L: Lacey karıştırma indeksi, M_X: ki-kare karıştırma indeksi, S_X: ki-kare ayrışma indeksi, X²: ki-kare değeri, Koyu karakterdeki sayılar 0.01 güvenirlik seviyesinde önemlidir.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında toz ve granüler formdaki gıdalar akış özellikleri ve akışa etki eden faktörler açısından incelenmiştir. Bu amaçla örnekler nem, su aktivitesi, dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları, partikül yoğunluğu, ortalama partikül boyutu, toz akış özellikleri (kohezyon özellikleri, kekleşme özellikleri ve akışın hıza olan bağımlılığı) yönünden analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında laboratuvar ölçekli V-tipi mikserler ve mutfak tipi robot ile bazı toz ve granüler bileşenler kullanılarak model karışım ürünler hazırlanmış ve karışımı etkileyen parametreler incelenmiştir.

4.1. Toz Gıdaların Genel Özellikleri

Toz gıdaların sahip olduğu nem, partikül boyutu, yığın yoğunluğu gibi özelliklerin bilinmesi depolama, üretim ve dağıtım süreçlerinde toz davranışlarının tahminlenmesini kolaylaştırmaktadır. Tozlar katı veya sıvı maddelerden farklı teknikler kullanılarak elde edilmekte, dolayısı ile sahip oldukları genel özellikler hammadde kaynağı ve elde etme yöntemine göre farklılık göstermektedir.

Nem, toz gıdalar için pek çok açıdan önem taşımaktadır. Tozun yapışkanlık özelliğini etkileyerek istenmeyen bir durum olan topaklanmaya neden olabilmekte [5], ayrıca tozların stabilitesi ve raf ömrü de nemden etkilenmektedir. Toz gıdaların akış özellikleri üzerinde oldukça etkili olan nem tozları ters yönde etkileyerek akışını zorlaştırmaktadır. Çalışmada kullanılan ürünler nem içerikleri açısından değerlendirildiğinde şeker, askorbik asit ve sitrik asit en düşük nem içeriğine sahip olan tozlar olarak tespit edilmiştir. Türk Gıda Kodeksi'nde (Şeker Tebliği) [127] beyaz toz şeker için kurutma kaybının

%0.06'nın altında olması gerektiği bildirilmiş ve çalışmada kullanılan şekerin (%0.012 nem) kodekse uygun olduğu belirlenmiştir. Kaba ve ince bulgur için tespit edilen nem içerikleri TGK Bulgur Tebliği'nde [128] belirtilen maksimum %13 sınırının altında olduğu saptanmıştır. Pirince ait nem değeri TGK [129] (maksimum %14.5) kriterlerine uygun bulunmuştur. Çalışmada kullanılan buğdayın nem içeriği %10.192 olup, önceki literatür bilgileri incelendiğinde buğday tanelerinin nem içeriğinin %6.2 – 20 arasında değiştiği, pirinç için ise %8.6 – 15.7 aralığında tespit edildiği bildirilmiştir [130]. Model ürünlerde bileşen olarak kullanılan nişastanın (mısır) rutubet miktarı %2.310 olarak tespit edilmiştir. Tozların akış özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada mısır nişastasının nem içeriği %10 ve şekerin %0.06 olarak rapor edilmiştir [9]. Yapılan başka bir çalışmada ise 25 saatlik kutuma sonunda nişastanın nemi %9.84, 48 saat kurutma sonunda ise %2.84 olarak tespit edilmiş ve akış özelliğinin nem miktarından etkilendiği bildirilmiştir [131].

Tez çalışmasında kullanılan toz gıda ürünleri su aktivitesi (a_w) yönünden incelendiğinde en yüksek değerler sırasıyla SAPP, karagenan, sodyum bikarbonat ve süttozuna ait iken en düşük a_w değeri malik asit ve sarı üzümde saptanmıştır. Su aktivitesi gıdalarda bulunan suyun kullanılabilirliğini gösteren termodinamik bir özelliktir. Düşük a_w değeri tozun fizikokimyasal ve mikrobiyal açıdan daha kararlı bir yapıda olmasını ve tozun kullanım zamanına kadar fonksiyonelliğini ve güvenilirliğini korumasını sağlamaktadır [132]. Tozların su aktivitesi değerleri 0.3 değerinin altında ve ortalama 0.18 – 0.25 arasında değişmekte, dolayısı ile tozlar kararlı bir yapıda bulunmaktadır [133]. Yapılan çalışmalarda artan su aktivitesinin tozların akış özelliklerini ters yönde etkilediği bildirilmiştir [134–136]. Farklı gıda tozlarının incelendiği bir çalışmada a_w değeri şeker için 0.48, süt tozu için 0.34, tuz için 0.49 olarak bildirilmiş [137] ve tez kapsamında incelenen ürünlere göre bu değerler yüksek bulunmuştur. Aynı çalışmada kakao ürünlerinin a_w değerleri 0.18 – 0.36 arasında değişiklik göstermiş ve bu araştırmada tespit edilen değerle uyum göstermiştir.

Toz gıdaların akış özelliklerini belirlemede dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunluklarından (DYY ve SY Y) sıklıkla faydalanılmaktadır. Yığın yoğunluğu toz miktarının sahip olduğu hacme oranı olarak ifade edilmekte ve tozun sıkışıklık durumu hakkında bilgi vermektedir. Yığın yoğunluğu üretim sürecinde transfer ekipmanları ve depolama tanklarının dizaynı için bilgiler sunmaktadır [14]. Ayrıca ürünlerin yığın yoğunlukları ne kadar düşükse partiküller arası boşluk o kadar fazla olacağından oksidasyona maruz

kalma oranları daha yüksek ve depolama stabiliteleri daha düşük olmaktadır [138–142]. Daha önceki literatür çalışmalarında mısır nişastasının DYY değeri 430 kg/m^3 ve 533 kg/m^3 ; SYE değeri 570 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olarak bildirilmiştir [110,143]. Farklı gıda tozlarının akış özelliklerini araştıran bir diğer çalışmada SYE değeri şeker için 710 kg/m^3 , mısır nişastası için 760 kg/m^3 olarak tespit edilmiş [9] ve çalışmada elde edilen verilerle paralellik göstermiştir. Şeker için bildirilen 0.857 kg/L ve 0.947 kg/L olan DYY ve SYE değerlerinin [144] tez çalışmasında elde edilen verilerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Boac et al., 2010, tarafından bildirilen çalışmada buğday tanelerinin yığın yoğunluğu $690\text{--}823.2 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmiştir. Yine aynı çalışmada pirinç yığın yoğunluğunun $641\text{--}851 \text{ kg/m}^3$, 579 kg/m^3 ve $573.2\text{--}579 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği bildirilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen pirinç DYY ve SYE değerlerinin önceki çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Partikül boyutu toz gıdaların karışım ya da ayrışmaya olan eğilimi hakkında önemli bilgiler vermektedir [45,145]. Karışımı yapılan tozların partikül boyutu, şekli ve yoğunluğu birbirine ne kadar yakınsa ayrışma o derece az ve karışma-ayrışma dengesi o kadar hızlı kurulmaktadır [45]. İncelenen tozlar arasında ortalama partikül boyutu (d_{50}) şeker için 0.594 mm olarak belirlenmiştir. Shenoy et al. [144], yaptığı bir çalışmada şekerin ortalama partikül boyutunu $542 \mu\text{m}$ olarak rapor etmiştir. Başka bir çalışmada ise şekerin d_{50} değeri $583 \mu\text{m}$ olarak bildirilmiş [137] ve tezde incelenen şekerle benzerlik göstermiştir. Çalışmada nişastanın d_{50} değeri 0.039 mm tespit edilmiş olup daha önceki çalışmalarla uyum içerisinde bulunmuştur [9,45,110]. Toz bileşenlerden askorbik asit ve sitrik asite ait d_{50} değerleri 0.274 mm ve 0.452 mm olarak tespit edilmiştir. Partikül boyutu tozların fiziksel özelliklerine etki eden en önemli özelliklerden biridir. Tozların yığın yoğunluğu, sıkıştırılabilirlik ve akışkanlık özellikleri partikül boyutundan etkilenmektedir [45,106]. Çalışmada granüler formdaki üzüm, nohut ve fasulyenin yığın yoğunluklarının diğer bileşenlere göre daha düşük değerlere sahip olması bu gıdaların tanecik boyutlarının tozlara göre yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Ayrışmanın sıklıkla meydana geldiği karışımlarda tanecik boyutundaki fark en önemli etken olarak görülmüştür. Tanecik boyutunun küçülmesi daha fazla temas alanı meydana getirmekte ve moleküller arası kuvvetlerin artarak tozun daha sıkı bir yapı kazanmasını sağlamaktadır [9,109]. Kolay akış sınıfında yer alan tozların partikül boyutlarının $200 \mu\text{m}$ 'in üzerinde olduğu bildirilirken daha küçük partikül boyutları yapışkanlık özelliğini

artırarak akışın zorlaşmasına neden olmaktadır [8,15,29,146,147]. Çalışmada d_{50} değeri 200 μm 'nin üzerinde tespit edilen şeker, sitrik asit ve askorbik asit tozları bu bilgileri doğrular niteliktedir.

4.2. Toz Gıdaların Akış Davranış Özellikleri

Çalışma kapsamında yukarıda bildirilen ve toz gıdaların akışına etki eden faktörlerin yanı sıra tozların akış sınıfını belirlemek amacıyla bazı analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler içerisinde tekstür cihazına adapte edilen toz akış probu ile kohezyon testi uygulanmış ve tozların akış sınıfını belirleyen kohezyon indeksi değerleri saptanmıştır. Bu test büyük granüller halinde bulunan nohut fasulye, üzüm ve buğday gibi ürünler için uygulanamamıştır. Analiz sırasında bir silindirik kap içerisinde dönen bıçak test edilen örneği silindirin tabanına doğru sıkıştırmaktadır. Ancak nohut ve fasulye gibi iri taneler bıçağın tabana ulaşmasına engel olduğundan analizin gerçekleşmesi mümkün olamamıştır. Kohezyon testi pirinç, bulgurlar ve toz örnekler için uygulanmıştır. Kohezyon indeksi değeri 11'in altında olan süttozu, sodyum bikarbonat, sitrik asit, pirinç ve bulgurların serbest akış özelliğine sahip olduğu, kakaonun ise 20.29 ± 1.29 kohezyon indeksi değeri ile en zor akış sergileyen ürün olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen örnekler içerisinde en ilginç sonuç 11.22 ± 0.29 kohezyon indeksi değerine sahip nişastanın kolay akış sınıfında yer almış olmasıdır. Farklı yağ ve nem içeriğine sahi tahıl ürünlerinin incelendiği bir çalışmada %12.5 neme sahip mısır nişastasının kohezyon indeksi değeri 19.58 olarak tespit edilmiş ve aşırı yapışkan olarak zor akış sınıfında yer aldığı bildirilmiştir [148]. Nişastanın akış sınıfında tespit edilen bu çelişkili sonucun nem içeriğine bağlı olduğu düşünülmektedir. Tez çalışmasında nişastanın nem değeri %2.310 iken Abu-hardan and Hill [148] tarafından bildirilen örneğin nem içeriği %12.5 olmuştur. Aynı çalışmada nişastanın neminde meydana gelen artışın kohezyon indeksi değerini de artırdığı bildirilmiştir. Ancak düşük nem içeriğine sahip olan tozların birbirine yapışma ve bir arada bulunma özelliği olmadığından prob ile analizinin yanlış sonuçlandığı yine aynı çalışmada vurgulanmıştır [148]. Nem içeriğindeki artışın partikül yüzeyini daha yapışkan hale getirdiği ve bunun sonucunda partiküller ile duvar yüzeyi arasında adhezyonun arttığı ifade edilmektedir. Partikül yüzeyine adsorbe olan su çözünür durumdaki molekülleri çözerek partiküller arası sıvı köprüleri kurmakta ve sonuç olarak kohezyonun artarak akışın zorlanmasına neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada buğdaydan elde edilen düşük nem içeriğine sahip tozların akışkanlık ve kohezyon

özelliklerinin hammadde kaynağı ve öğütme tekniğine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir [149]. Pirinç unlarını konu alan başka bir çalışmada nem içeriğinin %18'den %21'e yükselmesinin tozun akış direncinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir [150]. Tez çalışmasında toz şeker için tespit edilen kohezyon indeksi değeri 11.40 ± 0.19 olup literatürde ifade edilen 13.26 değeri ile kolay akış sınıfında yer aldığı bilgisi [106] paralellik göstermiştir. Kaba ve ince bulgur örneklerinin kohezyon indeksi değerleri 9.20 ± 0.16 ve 10.77 ± 0.06 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler buğdaydan elde edilen tozların incelendiği bir çalışmada ırmik için belirlenen 13.9 kohezyon indeksi değerine yakın olarak bulunmuştur [109]. Farklı partikül boyutuna sahip kahve tozlarının akış davranışlarının incelendiği bir çalışmada örneklerin partikül boyutunun yanı sıra yağ içeriğinin de akışı etkilediği rapor edilmiştir. Kahve çekirdeklerinin az ya da fazla kavrulmuş olmasının yağ içeriğini değiştirdiği ve dolayısıyla akışı etkilediği sonucuna varılmıştır [151]. Yağ içeriği farklı olan kakao tozlarını konu edinen başka bir çalışmada ise akış özelliklerinin yağ miktarından etkilendiği açıkça ortaya konmuştur [152].

Toz akışkanlığı hakkında bilgi veren Carr indeksi ve Hausner oranı, sıkıştırılmış ve dökme yığın yoğunlukları arasındaki orandan yararlanılarak oluşturulan değerlerdir. Burada oran ne kadar yüksekse toz o kadar kohezif yani akışa karşı dirençlidir [153]. Çalışmada kullanılan toz ve granüler ürünlerin dökme ve sıkıştırılmış yığın yoğunlukları kullanılarak hesaplanan Carr indeksi ve Hausner oranı değerlerine göre pirinç, şeker, nohut, fasulye, buğday, şehriye ve kaba bulgur mükemmel akış özelliği gösterirken sarı ve siyah üzüm, ince bulgur, malik asit, sitrik asit, sodyum bikarbonat ve süttozu iyi, tuz orta, askorbik asit ve kakao zayıf, nişasta ve SAPP çok zayıf akış özelliğine sahip olarak tespit edilmiştir. Nişastanın kohezyon indeksi ile olan çelişkili akış sınıfı kategorizasyonuna ilave olarak, askorbik asit için belirlenen 12.77 ± 0.32 kohezyon indeksi değerinin kolay akış sınıfında yer alması bu ürün için belirlenen Carr indeksi (29.14 ± 0.35) ve Hausner oranı (1.41 ± 0.01) değerleri ile çelişmiştir. Bu değerlere göre askorbik asit zayıf akış özelliği göstermiştir. Ancak literatür bilgileri incelendiğinde askorbik asit için bildirilen Carr indeksi 30.2 ve Hausner oranı 1.3 olup zayıf akış özelliğini işaret etmiştir [154]. Askorbik asitin sahip olduğu düşük nem içeriği akış özelliğini etkilemiş ve kohezyon indeksi değerinin düşük değerlerde tespit edilmesine neden olmuştur. Nişastanın oldukça küçük olan ortalama partikül boyutu değerinin aksine askorbik asitin daha iri tanelerinin olması kolay akışın meydana gelmesi ile

sonuçlanmıştır. Toz akış davranışı üzerinde partikül boyutu ve şeklinin etkili olduğu bilinse de hangi akış parametresinin hangi oranda değiştiğini kanıtlayan çalışmalar oldukça sınırlıdır [155]. Dolayısıyla toz ürünlerin akış davranışını belirlemede standartlaşmış tek bir yöntemden bahsetmek imkansızdır [105,156].

Tozların akış davranışı genel olarak artan nem içeriğiyle ters orantılı olarak azalma eğilimi göstermektedir. Ancak bu ilişki Carr indeksi, Hausner oranı, yığın açısı gibi özellikler dikkate alındığında her zaman geçerli sonuçlar vermemektedir. Liteatür bilgileri bu parametrelerin nem içeriğindeki değişikliklere karşı nispeten daha duyarsız olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan toz akış faktörünün nem değeriyle ilişkisi daha kuvvetli görülmektedir [157,158]. Daha önce yapılmış bir çalışmada tıbbi aromatik bir bitki olarak kullanılan *Andrographis paniculata* bitkisinin kohezyon indeksi değeri ile belirlenen akış sınıfının Carr indeksi ve Hausner oranı değerleri ile çeliştiğini, bu durumun küçük partikül boyutu ve yüksek nem içeriğinden kaynaklanabileceği vurgulanmıştır [159]. Bu durum tozların akış davranışı ile partikül boyutu ve nem içeriği arasında kurulmuş ve geçerli kılınmış anlamlı bir ilişki bulunmadığını, dolayısıyla çalışmaların artırılması gerektiğini göstermiştir [9].

Tozların akış özellikleri arasında kekleşme olarak tanımlanan ve çoğu zaman istenmeyen bir özellik olarak toz gıda üretim sürecinde sorunların yaşanmasına neden olan parametre toz akış probu ile analiz edilmiştir. Ancak bu test kohezyon ve hız bağımlılığı testi gibi granüler yapıdaki gıda bileşenleri için uygulanamamıştır. Toz formdaki şeker, nişasta, askorbik ve sitrik asit örneklerinin kekleşme testi sonucunda kek yükseklik oranı ve kek gücü ile ortalama kek gücü değerleri kaydedilmiştir. Tozların kek oluşturma eğilimleri akışkanlık özellikleri ile bağlantılı bir parametre olup kohezif maddelerin kek oluşturma olasılıkları daha yüksektir. Kekleşme testinde 5 tur boyunca kaydedilen kek yükseklik oranı değerleri özellikle süttozu, kakao, karagenan, SAPP ve tuz için döngü sayısı 1'den 5'e doğru arttıkça artış göstermiştir. Bu artış tozun kekleşme eğilimi olduğunun bir göstergesi olarak ifade edilmektedir [106]. Bu tozlar için belirlenen artışın turlar arasında istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu anlaşılmıştır ($p<0.05$). Ancak şeker için elde edilen verilerde kek yükseklik oranı değerleri döngüler açısından birbirinden farksız olmuş, düzenli bir artış veya azalış görülmemiştir. İlk 3 tur için az da olsa bir artış kaydedilmişken 4. tura geçişte kek yükseklik oranı düşmüş ve son turda yeniden artmıştır. Bu düzensizliğin şeker partiküllerinin analiz sırasında prob tarafından ezilmesi sonucu

ortaya çıktığı düşünülmektedir. Ayrıca küçük partiküllerden oluşan ince tozların büyük partiküller arasını doldurarak daha sıkı bir yapıda bulunması kek yükseklik oranlarının artmasına neden olmaktadır [104]. Bu sonuç çalışmada kullanılan küçük partikül boyutuna sahip nişastanın kek yükseklik oranlarında meydana gelen büyük artışın sebebi olarak değerlendirilmiş ve literatür tarafından destek bulmuştur. Farklı gıda tozlarının akış özelliklerinin incelendiği bir çalışmada mısır irmiği ve mısır ununun kek yükseklik oranlarında ilk ve son tur arasında çok az değişiklik veya hiç değişiklik olmadığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada şeker, süttozu ve kakaonun irmik ve una göre daha fazla kek yükseklik oranlarına sahip olduğu ve ilk turla son tur arasındaki artışın en fazla süttozu örneğinde tespit edildiği raporlanmıştır [106]. Tez çalışmasında incelenen örnekler bakıldığında ilk ve son tur arasındaki farkın en büyük olduğu toz 0.22 değeri ile nişasta olmuştur. Tozların akış özelliklerini inceleyen çalışmalar cam bilyeler veya silika tozları gibi daha çok gıda olmayan ürünler [160–162] ve farmakolojide kullanılan tozlar [163,164] üzerinde yoğunlaşmışken gıda tozları arasında en çok süttozu [37,165] ve tahıl grubu toz ürünler [9,148,166,167] incelenmiştir. Bu nedenle gıda tozları akışkanlık özellikleri ve akışa etki eden faktörler açısından tam anlaşılmış değildir. Ürünlerin su içeriklerinin kek oluşturma mekanizması için kilit etken olduğu bilinmektedir [168]. En düşük ortalama kek gücü değeri nişasta için elde edilmiş ve nişastanın nem içeriğinin oldukça düşük olmasının bu sonuca neden olduğu anlaşılmıştır. Nem ve yağ içeriğinin akış özellikleri üzerine etkisini inceleyen Abu-hardan and Hill [148] mısır ununa ait kek gücü değerlerinin değişen nem oranlarına göre farklılık göstermediğini ancak mısır nişastasının farklılık gösterdiğini ayrıca buğday unu ve nişastasının da kek gücü açısından nemden etkilendiğini bildirmiştir. Toz ürünler yüksek bağıl nemlere maruz kaldıklarında veya sıkıştırılarak daha kompakt bir yapı kazandıklarında kekleşme meydana gelebilmektedir. Literatürde toz ürünlerin teker teker kekleşme durumlarının ele alındığı çalışmalar bulunsada birden fazla tozun bir araya getirildiği karışımların kekleşme özelliklerini inceleyen çalışmalar yetersizdir [169]. Kakao, süttozu, irmik, buğday unu ve şeker bileşenleri kullanılarak hazırlanan karışımların akış davranışlarını konu alan bir araştırmada zor akış davranışı gösteren bileşenlerin bulunduğu karışımların da yüksek kohezyon indeksine sahip olduğu ve kekleşmeye yatkın olduğu ifade edilmiştir [170].

Toz akış özellikleri arasında akışın hızla olan ilişkisini test etmek amacıyla hız bağımlılığı testi (PFSD) uygulanmıştır. Bu testte 10, 20, 50 ve 100 mm/s hızlarda sıkıştırma

katsayıları kaydedilmektedir. Artan akış hızının sıkıştırma katsayısında meydana getirdiği değişiklik toz akış probunun hareketi ile tozun analiz sırasında yapısının değişmesi ve dolayısı ile akış özelliğinin farklılaşması anlamına geldiği bildirilmektedir [106]. Çalışmada incelenen şeker, süttozu, sodyum bikarbonat, askorbik asit, malik asit ve sitrik asitin sıkıştırma katsayısı artan hızla birlikte artış göstermiştir. Artan akış hızının sıkıştırma katsayısında meydana getirdiği artış tozun yüksek hızlarda akışının zorlaştığını belirtmektedir [106,171,172]. Bu tozların aksine nişastanın sıkıştırma katsayısı artan hızla birlikte düşmüştür. Bu negatif etki sonucu nişastanın yüksek transfer hızlarında akışının daha kolay olduğu belirlenmiştir. Gıda tozlarının incelendiği çalışmalarda irmiğin artan hızla birlikte sıkıştırma katsayısında düşüş, buğday ununun sıkıştırma katsayısında ise artış meydana geldiği, şekerde ise ilk üç hız kademesinde artış olduğu ancak 100 mm/s hızında bu artışın negatif yöne döndüğü belirlenmiştir [106]. Balla zenginleştirilmiş süttozlarının incelendiği bir çalışmada tozların artan hızla birlikte sıkıştırma katsayılarının da arttığı bildirilmiştir. Sıkıştırma katsayısının artması tozu hareket ettirmek için daha fazla iş gerektiği anlamı taşımaktadır. PFSD testi tozların akış stabilitesi hakkında da bilgiler sunmaktadır. Akış stabilite değeri analiz sırasında ilk ve son 10 mm/s hızlarındaki turlarda kaydedilen sıkıştırma katsayılarının oransal ifadesidir. Analiz edilen toz ürünler içerisinde en yüksek akış stabilitesi 1.137 değeri ile kakaoya ait olmuştur. Şeker için 1.110 ve askorbik asit için 1.087 olan akış stabilitesi nişasta için 0.997 olarak kaydedilmiştir. Bu stabilite değeri 1'den uzaklaştıkça tozun analiz sırasında değişikliğe uğradığının bir göstergesidir. Akış stabilite değerlerinin genel olarak 1 civarında değişkenlik göstermesi incelenen örneklerin akış yönünden stabil bir durum sergilediği yönünde değerlendirilmiştir. Şekerin akış stabilitesinin 2.09 olarak bildirildiği çalışmada şeker partiküllerinin prob tarafından parçalandığı, küçük partiküllerin silindirin tabanına büyük partiküllerin ise yüzeye doğru çıktığı gözlenmiştir [108]. Pirinç unlarını konu edinen bir araştırmada ise unların akış stabilitelerinin 1'e yakın olduğu ve kararlı bir yapılarının bulunduğu bildirilmiştir [104]. Daha önceki çalışmalar toz gıda ürünlerinin kekleşme ve hız bağımlılığı profillerinin birbiriyle ilişkili olduğunu göstermiştir [170].

Toz ürünlerin akış özelliklerinin belirlenmesi teknolojik gelişmelerin varlığında önemli derecede ilerlemiştir. Carr indeksi, Hausner oranı ve yığın açısı gibi teknikler toz akışı hakkında bilgi veren temel prensipler olarak oldukça uzun zamandır kullanılmaktadır

[158,173–175] Ancak teknolojinin devreye girmesiyle popülerleşen toz reometreleri farklı koşullar altında toz akışını ayrıntılı olarak incelemeye olanak sağlamaktadır [176–179].

Tez kapsamında yapılan analizlerin daha anlamlı hale getirilmesi ve yorumlamanın kolaylaştırılması amacıyla çok değişkenli veri analizi yöntemlerinden olan PCA ve HCA kullanılmıştır. PCA analizinin temel iki parametresi bulunmaktadır. Bu parametrelerden ilki skor olarak tanımlanmakta ve hangi ürünün hangi bölgede yerleşim gösterdiğini açıklamakta iken, diğer parametre olan faktör yükleri ürünlerin gruplandırılmasında hangi kriterlerin önemli olduğu hakkında bilgi sunmaktadır [97]. Bu iki yöntem sayesinde toz ve granüler halde bulunan ürünlerin sınıflandırılması gerçekleşmiş ve benzerliklerinin hangi kriterlere göre oluştuğu açıklanmıştır. PCA sonuçlarına göre toz granüler ürünlerin bazı fiziksel ve toz akış özellikleri incelenmiştir. Sonuçta üç temel bileşen ile verilerin %91’lik bölümünün açıklanması sağlanabilmiştir. HCA analizi sonuçlarının PCA sonuçları ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Ürünler farklı fiziksel özelliklerine göre 5 alt kümeye ayrılmıştır. PCA ve HCA analizlerinin başarıyla uygulandığı ve gıda ürünlerinin sınıflandırılması ve yorumlanmasında kolaylıklar sağladığı daha önce yapılmış çalışmalarla da ispat edilmiştir [97,99,151,180–184].

4.3. Model Toz Gıda Ürün Karışımını Etkileyen Faktörlerin Optimizasyonu

Laboratuvarda bulunan 3L hacimli V-tipi mikserde toz gıda karışımlarının optimizasyonunu yapabilmek için öncelikle karışıma etki eden faktörler incelenmiştir. Literatür bilgileri doğrultusunda toz mikseri için karıştırma süresi, mikserin dönüş hızı, mikserin doluluk miktarı ve toz bileşenlerin mikser içerisine yerleştirilme yönü karışımı etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir [67,70,185–187]. Bu faktörlerin etkisini incelemek amacıyla analizi kolay olan model bulgur karışımı yapılmıştır. İki farklı ortalama tanecik boyutuna sahip bulgur karışımı, karışım süresi (2 – 40 dakika), mikserin dönüş hızı (5 – 38 tur/dk), mikserin doluluk oranı (%40 – 80) ve bileşenlerin yerleştirilme yönü (alt-üst ve yan-yana) dikkate alınarak Cevap Yüzey metodolojisi ile test edilmiştir. 30 noktadan oluşan deney tasarımında mikserin farklı bölgelerinden numuneler alınarak ince ve kaba bulgur miktarları elek yöntemiyle birbirinden ayrılarak belirlenmiştir. Her bir deney noktasında elde edilen miktarlar standart sapma ve varyans değeri esas alınarak hesaplanan Lacey karıştırma indeksinin (M_L) belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu değerler

Cevap Yüzey metodu için tepki (response) olarak kaydedilmiş ve faktörlerin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre süre, hız ve doluluk oranının karıştırma indeksi üzerine etkisi anlamlı ($p<0.05$) bulunmuşken ürünlerin mikser içerisine yerleştirilmesi anlamlı değişiklikler meydana getirmemiştir. Daha önce V-tipi mikserde yapılmış bir çalışmada ürünün mikser içine hangi yönde yerleştirildiğinin önemli olmadığı rapor edilmiştir [186]. Model bulgur karışımında karışımın denge haline gelmesi için gerekli en kısa süre 2 dakika olarak belirlenmiştir. Birbirine benzeyen ancak farklı tanecik çapına sahip ve serbest akış sınıfında yer alan ürünlerin toz karıştırıcılarda kullanılması oldukça yaygındır [188–191]. Daha önce yapılmış bir çalışmada 66 µm çapa sahip kırmızı ve yeşil cam bilyelerin V-tipi mikserde karışımı incelenmiş, 8,16 ve 24 tur/dk karıştırıcı hızında karışım süresi artan hıza bağlı olarak azalmış, önemli olan parametrenin toplam tur sayısı olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada karıştırıcının doluluk oranının %60'tan %40'a düşmesinin anlamlı farklar meydana getirdiği bildirilmiştir [67]. Model bulgur karışımında mikserin düşük doluluk oranlarında karıştırma indeksi değeri artan hız ve karışım süresi ile artış göstermiş, yüksek doluluk seviyelerinde ise hız ve süreden ters yönde etkilenmiştir. Karıştırma indeksi mikser %40 ve %80 dolu iken en yüksek değerine 21 dakikalık karışım süresi ve 5 tur/dk hızında ulaşmıştır.

Model bulgur karışımında mikser içine tozun hangi yönde yerleştiğinin bir önemi olmadığı tespit edildikten sonra, sanayide kullanılan toz karıştırıcıların sabit hızda çalıştığı [67] dikkate alınmış ve laboratuvar mikserinin hızı 12 tur/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede karışıma etki eden faktör sayısı ikiye indirgenmiştir.

Model ürünlerde optimum karışım parametrelerini belirlemek amacıyla geleneksel yöntemlere ilave olarak yeni geliştirilen teknikler kullanılmıştır. Karışımın homojenlik derecesi geleneksel yöntemlerde karıştırma ve ayrışma indeksleri aracılığı ile yapılmaktadır. Bu doğrultuda model ürünlerin Lacey karıştırma indeksi, ki-kare karıştırma ve ayrışma indeksi değerleri hesaplanmıştır. Karışımın optimum noktasını belirlemek amacıyla mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan deneysel tasarım metotlarından Taguchi yöntemi ve ilave olarak çok kriterli karar vermek tekniklerinden Gri İlişkisel Analiz (GİA) yönteminden yararlanılmıştır [90,122,181,192]. GİA yönteminin uygulanmasında da yeni teknikler geliştirilmiş ve kriter ağırlıklandırma işlemleri uygulanmıştır. Ağırlıklandırma yöntemlerinde Taguchi ve Entropi tekniklerinden faydalanılmıştır [117,119,193].

Model ürün olarak seçilen toz sütlaç karışımında öncelikle farklı üç reçete ile mikserin %50 doluluk oranında karışım süresi incelenmiştir. Mikserin farklı yerlerinden alınan örneklerin bileşen miktarları tespit edilerek ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Ardından her bir karışım süresinde CV (%) değerleri belirlenmiştir. Karışımın homojenliğe ulaşma derecesi ortalama miktarlar ve CV değerleri göz önüne alınarak tespit edilmiştir. Sonuçta her üç reçete için 10 dakikalık karışım süresinin homojen bir karışım elde etmede yeterli olduğu anlaşılmıştır. Ardından belirlenen tek bir reçete ile mikserin farklı doluluk oranlarında farklı sürelerde karışımlar yapılmıştır. Bu karışımların homojen olup olmadığına mikser içinden alınan örneklerin ortalama miktarları ve CV değerleri esas alınarak karar verilmiştir. Ardından literatürde en sık kullanılan yöntemlerden biri olan karıştırma ve ayrışma indeksi değerleri belirlenmiştir. Standart sapma ve varyans kullanılarak Lacey karıştırma indeksi (M_L) hesaplanmış ve M_L değerinin 0.95'in üzerinde olduğu süreler homojen karışımın sağlandığı süreler olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca alınan örneklerdeki bileşen miktarları ile reçetede olması beklenen miktarlar kullanılarak ki-kare (X^2) değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler ile ki-kare ayrışma (S_x) ve karıştırma (M_x) indeksleri belirlenmiş ve karışımın homojenitesi hakkında tespitler yapılmıştır. Homojen yapının değerlendirilmesinde bileşenlerin ortalama miktar ve CV değerleri esas alınarak V-tipi mikserin model toz sütlaç ürününü homojen olarak karıştırdığı durumlar %50, 70 ve 90 doluluk seviyelerinde 2 dakika, %60 ve 80 seviyesinde ise 1.5 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu süre-doluluk oranı kombinasyonlarında bileşenlerin ortalama değerleri olması beklenen sınırlar içinde yer almış ve CV değerleri de %10'un altında kalmıştır. Tüm doluluk seviyelerinde 2 dakikanın üzerindeki karışım sürelerinin bileşenlerin ortalama miktarlarına etkisi istatistiksel olarak anlamsız ($p>0.05$) bulunmuştur. V-tipi mikseri konu edinen çalışmalarda gerçek gıda tozları ile yapılan araştırmalar çok kısıtlı kalmıştır. Gıda tozlarının ilaç sanayisinde de bileşen olarak kullanıldığı karışımlarda ise etken ilaç maddesinin homojenliğe ulaşma göstergesi olarak değerlendirilmesi [56,194], gıda tozlarının mikser içindeki durumunu inceleme açısından yetersiz kaldığını göstermiştir. Model toz sütlaç ürün karışımında bileşenlerin mikserin farklı doluluk seviyelerindeki CV değerlerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde ilk 2 dakika içerisinde keskin bir düşüşün yaşandığı daha sonra değişimlerin asimptotik bir seviyede kaldığı gözlenmiştir. V-tipi mikserde magnezyum stearat (MgSt) etken maddesinin karışım durumunu inceleyen Perrault et al. [186] doluluk seviyesinin artması ile karışım performansının

azaldığını bildirmiştir. MgSt maddesinin %30 doluluk oranında 4.5 dakikalık karışım süresinden sonra CV değerlerindeki değişimi azalmış, doluluk seviyesinin %50 ve üzerinde olması halinde ise homojen karışımı elde etmek için 7 dakikadan daha fazla süreye ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Edinilen bilgiler doğrultusunda karışımı yapılan bileşenlerin gerçekte beklenen değerlere ulaşmasının mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Ancak CV değerleri ve ortalama değerlerin etkin bir karışım sağlandığını göstermesi için çok uzun karışım sürelerine ihtiyaç duyulduğu raporlanmıştır [195]. Lacey karıştırma indeksi (M_L) iki bileşenden oluşan karışımların kalitesini belirlemek amacıyla geliştirilmiş bir metottur. Ancak Miyanami [57] karışım içerisindeki kilit bileşenin esas alınarak çok bileşenli karışımların ikili karışım gibi kabul edilebileceğini ifade etmiştir. Bu bilgi ışığında model toz sütlaç ürünüde her bir bileşen (pirinç, şeker ve nişasta) sırayla kilit bileşen olarak seçilmiş ve M_L değerleri hesaplanmıştır. Karışımın M_L değeri olarak üç indeksin ortalaması kullanılmıştır. Tüm doluluk seviyeleri ve sürelerinde M_L değeri dengeli bir karışımın varlığını gösteren 0.95'in üzerinde bulunmuştur. Bu nedenle model toz sütlaç ürün karışımının en kısa karışım süresi olarak belirlenen 0.5 dakika sonunda homojenliğe ulaştığı saptanmıştır. M_L değerinin zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde 2. dakikadan sonra indeks değerinin değişiminin azaldığı görülmüştür. Bu durum karışımın dengeye ulaşma derecesi olarak benimsenmektedir. Karıştırma indeksinin mikser tipine bağlı olmaksızın zamanla dengeye ulaştığı daha önceki literatür çalışmalarında da bildirilmiştir [196,197]. Model toz sütlaç ürünü için belirlenen ki-kare (X^2) değeri, S_X ve M_X değerlerinin M_L ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Dolayısı ile toz sütlaç modelinde elde edilen indeks değerleri arasındaki korelasyon çok güçlü bulunmuştur. Beklendiği gibi X^2 değeri S_X ile pozitif, M_L ve M_X değerleri ile negatif ilişki içinde olmuştur. Model toz sütlaç ürününün homojenitesinin incelenmesinde Taguchi metodu alternatif bir yol olarak uygulanmıştır. Taguchi yönteminde iki faktör ve 5'er seviyeden oluşan L_{25} tasarımı bileşenlerin ortalama miktarları için "hedef değer – en iyi" prensibi doğrultusunda incelenmiştir. CV değerleri ise "en küçük – en iyi" hedefiyle test edilmiştir. Sonuçlar mikserin %70 doluluk oranında 2 dakikalık karışımın optimum olduğunu işaret etmiştir. Birden fazla sonucun optimize edilmesi söz konusu olduğunda çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu nedenle Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile optimum karışım parametrelerinin seçimi gerçekleştirilmiştir. Bu adımda da GİA yöntemi kriterlerin eşit/farklı ağırlıkta olması durumuna göre ayrı ayrı uygulanmıştır. Kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak da hem

Taguchi hem de Entropi teknikleri kullanılmıştır. Sonuçta toz sütlaç ürünü için her bir yöntemde elde edilen optimum nokta birbirinden farklılık göstermiştir. Ancak bileşenlerin ortalama miktarları ve CV değerleri göz önünde bulundurulduğunda Taguchi yöntemi sonuçlarının en uygun sonuç olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez kapsamında karışım parametrelerinin analiz edildiği bir diğer ürün model toz çorba karışımı olmuştur. Bileşenlerin ortalama miktar ve CV değerlerine göre homojenliğinin tespitinde sadece %90 doluluk ve 2 dakikalık karışım sonucunda tuz bileşeninin CV değerinin %10'dan fazla olduğu anlaşılmıştır. Diğer karışımların kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve en düşük karışım süresinin %50 doluluk oranında 2 dakika ile sağlandığı tespit edilmiştir. Model toz çorba ürününe ait karıştırma ve ayrışma indeksi değerleri de tüm süre ve doluluk oranlarında homojen karışımın sağlandığını ortaya koymuştur. Optimum karışım noktalarının belirlenmesi amacıyla uygulanan Taguchi ve Gri ilişkisel analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar büyük bir tutarlılık sergilemiştir. Yeni geliştirilen tekniklerin hepsinde model toz çorba ürünü için tespit edilen optimum karışım parametreleri %70 doluluk oranı ve 30 dakikalık karışım olmuştur. Bu karışım noktasından elde edilen deneysel sonuçlar da gerek reçete değerlerine ulaşma ve gerekse CV değerinin %10'dan düşük olması noktasında kabul edilebilir bulunmuştur.

Model ürün olarak seçilen toz puding ürünü için de tam faktöriyel deneme noktalarında benzer incelemeler yapılmıştır. Mikserin doluluk oranı ve karışım süresi parametreleri bileşenlerin ortalama miktarları ve CV değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı farklara neden olmuştur. Homojen karışımlar %50, 80 ve 90 doluluk oranında 10 dakika, %60 dolulukta 2 dakika ve %70 dolulukta 5 dakikalık süreler sonucunda elde edilmiştir. Karışımların karıştırma ve ayrışma indeksi değerleri de yine homojen karışımın sağlandığını göstermiştir. Optimum noktaların tespitinde Taguchi ve ağırlıksız GİA yönteminden elde edilen sonuçlar %70 doluluk oranında 30 dakikalık karışımı gösterirken Entropi ve Taguchi ağırlıklı GİA yönteminde %60 dolulukta 20 dakikalık karışım optimum olarak belirlenmiştir. Bu iki karışım noktasında elde edilen deneysel sonuçlar da kabul kriterlerini sağlamış ve homojen karışımın sağlandığını göstermiştir. İlaç sanayisinde yapılan bir araştırmada %55 doluluk oranı ve 25 tur/dk hızda çalışan bir V-tipi mikserde karışımın homojenliğe ulaşması 30 dakika sonunda gerçekleşmiş ve daha fazla karıştırmanın ayrılmaya neden olduğu bildirilmiştir [198].

Çalışma içinde model ürün seçiminde gerçek toz gıda karışımları göz önünde bulundurulmuştur. Gıda sanayisinde sadece toz ürünler değil granüler yapıdaki ürünlerin karıştırılması da oldukça yaygındır. Bu nedenle granüler yapıda bulunan üzüm, nohut, fasulye ve buğday kullanılarak oluşturulan model aşure karışımında da 2–30 dakika arasında değişen süre ile mikserin %50–90 doluluk seviyelerinde karışımlar yapılmıştır. Mikser içinden alınan örneklerin elle seçilerek birbirinden ayırt edilmesi sonucunda bileşenlerin miktarları tespit edilmiştir. Hesaplanan ortalama miktar ve CV değerleri iki yönlü varyans analizi ile incelendiğinde süre ve doluluk seviyesinin ortalama değerler üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Süre*doluluk etkileşimi ise bileşenlerin hesaplanan ortalama miktarlarını etkilemiş ve fark oluşmasına neden olmuştur ($p<0.05$). Ortalama tanecik boyutu 3.47 mm olan beyaz ve 3.50 mm olan siyah polimer maddelerin v-tipi mikserde karışım durumunu inceleyen bir çalışmada karışımın kalitesi genel olarak artan karışım sürelerinde artış göstermiştir. Aynı çalışmada mikserin hızı 20 tur/dk'dan 40 ve 60 tur/dk'ya çıktığında karışımın homojenliği de artmıştır [199]. Model aşure ürününde karışımın homojenliği bileşenlerin ortalama miktarları ve CV değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde %50–70 doluluk seviyesinde 10 dakika, %80–90 seviyesinde ise 20 dakikanın karışımın dengeye ulaşması için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Karıştırma ve ayırma indeksleri ile homojenliğin test edildiği durumda tüm karışım süresi ve mikserin doluluk seviyelerinde karışımın homojen olduğu belirlenmiştir. Ki-kare karıştırma indeksinin 1'in üzerinde ve ayırma indeksinin de 0'ın altında tespit edilmesi homojenliği doğrular nitelik taşımıştır. Karıştırma indeksi değerlerinin bazı çalışmalarda 1'den büyük çıktığı bildirilmiştir [200]. İndeks değerlerine göre 2 dakikalık karışım süresi model aşure ürün karışımını hazırlamak için yeterli bulunmuştur. Yapılan bir araştırmada serbest akış özelliklerine sahip kırmızı ($d_{50}:510 \mu\text{m}$) ve beyaz ($d_{50}:491 \mu\text{m}$) mikrokristal selüloz granüllerinin karışımı incelenmiş ve karışım süresinin mikserin doluluk oranı azaldıkça azaldığı ve etken faktörün mikserin doluluk seviyesi olduğu tespit edilmiştir [201]. Model aşure ürünü için uygulanan Taguchi ve GİA yöntemleri sonucunda tespit edilen optimum karışım faktör seviyeleri kendi içinde tutarlı bulunmuştur. Taguchi modeli ve entropi ağırlıklı GİA modeli %80 doluluk ve 30 dakikalık karışımı optimum olarak işaret etmiştir. Ağırlıksız ve Taguchi ağırlıklı GİA sonucunda ise %60 doluluk oranı ve 30 dakikalık karışım noktası optimum seçilmiştir.

Tez kapsamında model seçilen toz ürünlerden bir diğeri toz içecek olmuştur. Model toz içecek için askorbik asit, sitrik asit ve şekerden oluşan bir reçete oluşturulmuştur. Bu bileşenlerle üç farklı mikser tipinde %50 doluluk oranı ve beş farklı sürede karışımlar yapılmıştır. Elde edilen örneklerin askorbik asit ve sitrik asit konsantrasyonları HPLC cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan incelemelerde model toz içeceğin V3L mikserinde homojen olarak karıştığı süre saptanamamıştır. Ancak V8L mikserinde tüm karışım sürelerinde bileşenlerin ortalama miktarları ile CV değerleri kabul edilebilir seviyede tespit edilmiştir. Dolayısı ile V8L mikserinde model toz içeceğin dengeye geldiği en kısa süre 2 dakika olmuştur. Mutfak tipi robotta da benzer durumlar tespit edilmiş ve homojen karışım 2 dakika sonunda elde edilmiştir. Mutfak tipi robotta artan karışım süresinin (30 dk) homojen yapıyı bozduğu tespit edilmiştir. Bu durumun robotun dönen plastik karıştırıcı bıçağının robot içindeki tozu parçalaması nedeniyle olduğu düşünülmüştür. Karışım süresinin artması ile robot içindeki bıçak ısınmış, tozlar kazandıkları kinetik enerji nedeniyle ısınarak bıçak üzerine ve robotun duvarlarına yapışmıştır. Bu durum karışımın homojen yapısının bozulmasına neden olmuştur. Model toz içecek ürünüde karışımın kalitesini belirlemek amacıyla hesaplanan karıştırma ve ayrıştırma indeksi değerleri düzgün bir eğilime sahip olmasa da tüm süreler için homojen karışım sağlandığını göstermiştir.

V-tipi mikserleri konu alan daha önceki araştırmalar incelendiğinde belirlenen çalışma koşulları içinde homojen karışımın sağlanamadığı durumlar rapor edilmiştir. Örneğin kum ve ilmenit karışımının 24 tur/dk hızında 1000 tur sonrasında dahi karışmadığı bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada kum ve tuz taneciklerinin 24 tur/dk hızıyla çalışan bir mikserde 5000 tur geçmesine rağmen denge haline gelemediği [70], kohezif özellikteki bir ilaç karışımının 24 tur/dk hızında 1100 tur sonunda homojenliğe ulaştığı [202], partikül boyutları aynı olan CaCO_3 ve SiO_2 karışımının 1000 tur (24 tur/dk hızında) sonrasında karışabildiği [203], laktoz ve mısır nişastasının karışımı için 24 tur/dk hızında 500 turda yeterli homojenliği yakalayamadığı [204], 118 μm aspirin ile 87 μm laktozun 60 dakikalık bir karışıma ihtiyaç duyduğu [205] ve mısır taneleri ile tuz karışımında 33 tur/dk hızda 1000 turun önemli ayrışmalara neden olduğu [206] bildirilmiştir.

Model toz içecek ürünü için uygulanan GİA yönteminde hem ağırlıksız hem de Entropi ağırlıklı veriler farklı mikser tipi ve karışım süresini optimum nokta olarak göstermiştir. Ağırlıksız GİA yönteminde en optimum karışım robot tipi mikserde 5 dakikada elde

edilmişken, entropi ağırlıklı GİA sonucunda V8L mikserinde 20 dakikalık karışımda elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasının genel kapsamına bakıldığında toz ve granüler formdaki ürünlerin karışım sırasında göstereceği davranışları anlayabilmek amacıyla nem, yığın yoğunluğu, partikül boyutu ve yoğunluğu ile tozların akış davranış özellikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler bu parametrelerin birbiri ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Tozların akış davranış özelliklerinin belirlenmesinde geleneksel metotların yanı sıra enstrümental analizlerin de etkin sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Çalışmada gıda sanayisinde toz formda bulunan gıdaların üretimi sırasında çokça kullanılan V-tipi mikserde model olarak seçilen ürünlerin homojen karışım sürelerini tespit etmek için deneysel çalışmalar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Karışımın kalitesini belirlemek amacıyla geliştirilen karıştırma ve ayrıştırma indeksi değerleri dikkate alındığında tüm model ürünlerde incelenen en kısa sürelerde bile karışımın homojen olduğu tespit edilmiştir. Ancak elde edilen veriler ışığında karıştırma ve ayrıştırma indeksleri ile tespit edilen sonuçları kullanmanın uygun olmadığı düşünülmektedir. Karışımın ortalama miktarları ve CV değerlerinin daha mantıklı ve kabul edilebilir sonuçlar sunduğu görülmektedir.

Toz ve granüler ürünlerin karışımını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmakla beraber çalışmaların analizi daha kolay kılmak adına cam veya polimer model ürünlerle yapıldığı görülmüştür. Bu durum gerçek toz ve granül maddelerin karışımının daha zor ve deneysel tekrarlanabilirliğinin daha düşük olması sebebiyle tercih edilmediğini göstermiştir. Ayrıca yapılan çalışmaların bir kısmı bilgisayar destekli simülasyonlar ve matematiksel modellemeler üzerine yoğunlaşmıştır [207]. Bu araştırmalar çoğunlukla toz karıştırıcıların çalışma prensiplerini açıklamaya odaklanmıştır. Karıştırıcılar içerisindeki ürünlerin homojenliğini inceleyen ve buna yönelik yöntem geliştiren çalışmalar da oldukça fazladır [56,200,208–210]. Literatürde bildirilen ve karışımın durumunu ifade eden karıştırma/ayrıştırma indeksi sayısının oldukça fazla olması da durumun karmaşıklığını göstermektedir. Toz karıştırıcılar üzerine yapılan incelemelerin bir kısmı da uygun örnekleme yöntemi ve aleti geliştirmeye odaklanmıştır [60,187,195,211,212].

Dünyada ve ülkemizde gıda sanayisinde kullanılan toz ve granüler maddelerin karışımını inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Farklı türdeki karıştırıcılar da dahil olmak üzere

karışımlarda gerçek gıda ürünlerini kullanmak dezavantaj oluşturmaktadır. V-tipi mikserleri konu alan çalışmaların büyük kısmı da ilaç formülasyonlarını kapsayan farmakolojik araştırmalardır. Bu çalışmaların bazılarında gıda sanayisindeki tozlar kullanılmış olsa da bu tozlar ilaç formülasyonlarında sadece birer bileşen olarak ele alınmıştır. İlaç karışımlarının incelendiği çalışmalar ilaç etken maddesinin karışım içindeki durumu üzerine yoğunlaşmış olduğundan gıda tozlarının konsantrasyonları genel olarak ihmal edilmiştir. Toz gıda ürünleri birden fazla bileşenden oluşan karışımlardır. Dolayısıyla her bir bileşenin farklı bir görevi bulunmaktadır. Bazı ürünler kıvam verici, bazıları tatlandırıcı, bazıları renklendirici ve bazıları da tekstürü sağlama amaçlarıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle ürün bileşenlerinden sadece birinin karışım içinde homojen olarak dağılması ürünün homojen olduğu anlamına gelmemektedir Ürün renk yönünden homojen iken tat yönünden veya yapı bakımından istenilen durumda olamayabilmektedir. Böyle bir durumda tek bir bileşenin homojenliği ile tüm karışımı değerlendirmek mümkün değildir. Toz gıda karışımlarının kalitesi tat, koku, aroma, tekstür açısından tanımlanmakta ve bu özellikler de karışımın homojenitesinden etkilenmektedir [136,213].

Karışımın homojenitesini belirlemede kullanılan karıştırma indeksleri temel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki örneklem analizine dayalı standart sapma değerinin kullanıldığı istatistiksel bir yöntem iken [214–218] diğeri örneklem yerine bütün karışımı incelemeye odaklı yöntemdir [219–221]. İstatistiksel yöntemlere dayalı indeks değerleri örneklem büyüklüğü ve koşullarına bağlı olduğu için her zaman uygun sonuçlar ortaya koymamaktadır. Lacey karıştırma indeksi tüm bileşenlerin tek tip partikül boyutuna sahip olmasını varsayarken farklı karıştırma indekslerinde tam karışmış bir durumun bile 1'den büyük bir değer meydana getirme veya 1'e yakın bir karıştırma indeksi değeri ile ayrılmış bir karışımı homojen olarak tahmin etme durumu söz konusu olabilmektedir [218]. Kürekli bir yatay karıştırıcıda farklı boyutlardaki şeker kamışı yaprağı tozlarıyla yapılan karışımlarda Lacey karıştırma indeksi değerleri bu çalışmada elde edilen bulgulara benzer şekilde 1'e yakın hesaplanmıştır [222]. Her çalışmanın kendi içinde odaklandığı sorunları çözmede kullandığı yöntemler değişmekte ve sonuçta ortaya standart olmayan pek çok tanım ve yöntem çıkmaktadır. Çalışmaların birbiriyle karşılaştırılabilmesi ve bilgi birikiminin devam edebilmesi standart bir yöntem olan ihtiyacı göstermektedir [223].

Literatür çalışmaları temel alınarak bu çalışma kapsamında standart sapma ve CV değişkenleriyle hesaplanan karıştırma/ayırma indeksi değerlerinin karışım hakkında uygun sonuçlar vermediği görülmüştür. Çünkü tüm model ürünlerde hesaplanan bu indeks değerleri incelenen bütün karışım süreleri ve mikser doluluk oranlarında karışımların homojen olduğunu göstermiştir. Ancak bileşenlerin ortalama miktarları ve CV değerleri birlikte değerlendirildiğinde homojen karışımın değişen süre ve doluluklarda farklılık gösterdiği saptanmıştır. Toz ürün karışımlarının incelenmesinde geleneksel yöntemlerin yeni yaklaşımlarla desteklenmesi ya da yeni yaklaşımların eski yöntemlerin yerini alması gerektiği düşünülmektedir. Bu doğrultuda tez çalışmasında kullanılan matematiksel yaklaşımlar toz karışımların incelenmesi ve optimum parametrelerin tespit edilmesinde başarıyla uygulanmıştır. Taguchi metodu ürün ve proses geliştirme amacıyla kullanılan ve maliyetleri azaltmaya odaklanan bir deneysel tasarım metodu olmasının yanı sıra optimizasyon alanında da kullanılmaktadır. Ancak Taguchi yöntemi tekli tepkilerin optimize edilmesine imkan sağlamakta, tepki sayısı arttıkça optimizasyon zorlaşmaktadır. Bu nedenle gıda mühendisliği alanında çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulanması günden güne artmaktadır [114,122,181,224,225]. Gıda teknolojisinde yer alan hammadde, üretim ve proses koşullarının araştırılması çok yönlü kararları içermektedir. Dolayısıyla tek bir kriter esas alınarak değerlendirme yapmak doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Gri ilişkisel analiz yöntemi eksik, belirsiz ve/veya az sayıda veriyle çalışma imkanı sağlaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Birden fazla kriterin optimize edilmesinde tek bir yöntem çoğu zaman başarısız olmaktadır ve GİA yöntemi kriterler arasındaki bağı inceleyip dengeli bir kombinasyon oluşturarak süreci optimize etmeye olanak sağlamaktadır [226]. Birçok GİA uygulamasında kriterlerin eşit ağırlıkta olduğu varsayılarak analizler yapılmıştır ancak gerçekte prosesi etkileyen parametrelerin her birinin farklı önem derecesi bulunmaktadır [117,227,228]. Dolayısı ile bu çalışmada kriter ağırlıklandırmada Entropi ve Taguchi yöntemi objektif birer teknik olarak kullanılmıştır. Sonuçta GİA yöntemi kriterlerin eşit ağırlıkta olduğu (veya ağırlıklandırma olmadığı) ve bu iki ağırlıklandırma yönteminden elde edilen verilerin kullanımıyla ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Model ürün karışımlarının Gri İlişki Derecesi değerine göre yapılan sıralamalarında eşit ağırlıklı kriterlerle elde edilen sonuçların Taguchi ağırlıklı kriterlerle daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ancak sonuçta her bir yöntem göreceli

karar verme riskini ortadan kaldırdığı için bilimsel çalışmalarda uygulanabilir bulunmuştur.

Model toz ve granüler gıda ürünlerinin karışım homojenliğinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel (karıştırma/ayırma indeksi verileri) yöntemler ile yenilikçi yöntemler arasında istatistiksel ilişkiler kurularak, her iki yaklaşımın birbirini ne ölçüde desteklediği incelenmiştir. Elde edilen korelasyon analizi verileri, özellikle ki-kare temelli karıştırma ve ayırma indeksleri ile hem ağırlıksız hem de Taguchi ağırlıklı GİA değerleri arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Model toz sütlaç, çorba ve puding ürünlerinde bu ilişki katsayıları 0.78 ile 0.89 arasında değişmiş, bu durum GİA'nın geleneksel yöntemlerle tutarlı sonuçlar üretebildiğini göstermiştir. Lacey karıştırma indeksi ile GİA sonuçları arasındaki ilişki model ürün bazında farklılık göstermiştir. Özellikle fiziksel olarak daha homojen bir yapıda bulunan ürünlerde (model toz sütlaç ve toz içecek gibi), Lacey karıştırma indeksi ile GİA arasında güçlü ilişkiler gözlemlenirken, tüm bileşenleri taneli yapıda olan aşure model ürününde bu ilişki daha zayıf kalmıştır. Bu sonuçlar, karışım özelliklerinin ve bileşen morfolojisinin, karışım indekslerinin duyarlılığı üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Entropi ağırlıklı GİA sonuçları ise genel olarak orta düzeyde korelasyonlar meydana getirmiş, buna karşın ağırlıksız ve Taguchi ağırlıklı GİA sonuçları arasındaki uyumun oldukça yüksek (korelasyon katsayısı: 0.993) olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, GİA sonuçlarının kendi içinde tutarlılığını ve güvenilirliğini desteklemiştir.

Sonuç olarak, Gri İlişkisel Analiz yöntemi, farklı ağırlıklandırma teknikleriyle uygulanabilirliği yüksek, esnek ve çok kriterli değerlendirmelere olanak sağlayan bir araç olarak, karışım homojenliğinin incelenmesinde geleneksel karıştırma/ayırma indekslerine anlamlı bir alternatif ya da tamamlayıcı yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yönüyle GİA, özellikle farklı mikser tipleri ve karışım parametrelerinin karşılaştırılmasında sistematik ve veri odaklı kararlar alınmasına katkı sağlayabilecektir.

Model ürünlerin karışımından elde edilen deneysel sonuçlar gıda sanayisinde ölçeklenebilir ve uygulanabilir bilgiler sunmaktadır. Çalışma kapsamında, mikserin doluluk oranı ve karıştırma süresinin, karışım homojenliğine doğrudan etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ile büyük ölçekli üretim tesislerinde süreç tasarımı ve verimliliği kapsamında karışımların planlanabilmesinin önü açıktır.

Tez çalışması kapsamında model toz ürün karışımlarının homojenliğe ulaştığı optimum koşullar Tablo 4.1’de sunulmuştur. Bu tablo mikser içerisinde farklı karışım süresi ve mikser doluluk oranlarında karıştırılan model toz ürünlerin ağırlıksız ve Taguchi/ Entropi ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz yöntemi ile belirlenen optimum koşullarını toplu olarak özetlemektedir. Çalışma sonuçları benzer prototip araştırmalara kaynak teşkil edecek ve ölçek büyütme prosedürleri uygulanarak sanayiye aktarılabilir.



Tablo 4.1. Model Toz Ürünlerin farklı yöntemlerle belirlenen optimum karışım noktaları

Matematiksel Model	Model Toz Ürünler									
	Model Toz Sütlaç		Model Toz Çorba		Model Toz Puding		Model Aşure		Model Toz İçecek	
	Optimum Faktör/Seviye									
	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	DO (%)	KS (dk)	Mikser Tipi	KS (dk)
Taguchi Yöntemi	70	2	70	30	70	30	80	30	-	-
Ağırlıksız Gri İlişkisel Analiz	70	5					60	30	Robot	5
Taguchi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz	60	5					-	-		
Entropi Ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz	80	5			60	20	80	30	V8L	20

DO: Mikser Doluluk Oranı, **KS:** Karışım Süresi

4.4. Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılabilecek çıkarımlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Gıda sanayisinde toz ve granüler halde bulunan ürünlerin taşıma, depolama ve üretim sürecinde yaşanabilecek olası sorunları ve çözümleri için ürünlerin sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve fonksiyonel özelliklerin bilinmesi gereklidir. Bu özelliklerin etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi ürünlerin önce teker teker ve sonrasında birlikte ele alınarak incelenmesini zorunlu kılmaktadır.
- Toz gıdaların sahip olduğu genel özellikler araştırılırken geleneksel yöntemlerin yanı sıra gelişen teknolojiye bağlı olarak geliştirilen yeni tekniklerin de kullanılması ve geçerli kılınması uygun olacaktır.
- Toz gıdaların akış davranış veya toz reolojisi alanındaki çalışmaları çok sınırlıdır. Bu tip gıdaların endüstriyel Ar-Ge çalışmalarında toz akış ve davranış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla daha fazla incelenmesi gereklidir.
- V-tipi mikserde toz gıdaları konu edinen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle karışım mekanizmasının anlaşılabilmesi ve homojen yapının oluşacağı mikser dizaynının yapılabilmesi amacıyla çalışmalar çeşitlendirilebilir.
- Toz gıda karışımlarında süre, hız, mikserin doluluk seviyesi, ürünün yerleştirilme sırası ve yönü gibi kontrol edilebilir parametreler ile ürünün nemi, yapısı ve toz akış özellikleri gibi kontrol edilemeyen faktörlerin de inceleneceği çalışmalar planlanabilir.
- V-tipi mikserde gıda dışı yapılan araştırmalar genel olarak ikili karışımları esas almıştır. Gerçekte ise karışımlar pek çok bileşenden oluşmaktadır. Bu nedenle çalışmaların çoklu karışımlar üzerine yoğunlaşarak gerçeğe yaklaşması uygun olacaktır.
- Karışımların homojenliğini değerlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılan numune alma yöntemleri geliştirilebilir, numune alımı sırasında karışımın yapısını bozmayacak yeni teknikler uygulanabilir.
- Karışım mekanizmasının daha iyi anlaşılması ve bileşenlerin etkileşimlerinin gözlemlenmesi açısından, toz ürünlerde görüntü analizi ve partikül yapısı inceleme tekniklerinin uygulanması yararlı olabilir.

- Toz ürünlerin sahip oldukları özellikler nedeniyle üretim sürecinde farklı davranışlar sergilemektedir. Bu nedenle V-tipi karıştırıcıda karışım süresinin ve doluluk seviyesinin optimize edilmesi, tüm karışımlar için geçerli mutlak bir optimizasyon söz konusu olmadığından her bir karışım teker teker ele alınmalıdır.
- V-tipi mikserde yapılan karışımlar sonucu karışımların homojenliğe ulaştığı süreler 2 dakika olarak belirlenmiştir. Sanayide karışım sürelerinin uzun tutulması zaman, işçilik ve kapasite kayıplarına neden olmaktadır. Çalışma sonuçları sanayiye aktarılarak hem üretici firmalar hem de ülke ekonomisi için enerji tasarrufu elde edilebilir.
- Çalışma sonuçları toz ürünlerin kullanıldığı ilaç, kimya ve metalürji gibi diğer sanayi dallarına da aktarılarak üretici firmalar ve araştırma birimleri için başka çalışmalara kaynak teşkil edebilir.
- Toz karışımların homojenliğini değerlendirmede geleneksel yöntemler yeni matematiksel yaklaşımlarla desteklenmelidir.
- Çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulanmasında kriter ağırlıklandırma yöntemleri çeşitlendirilerek karşılaştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Bhandari B., 2013. Introduction to Food Powders, pp. 1–25. *In: Handbook of Food Powders: Processes and Properties* (Eds: B.R. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck). Elsevier Science, New York.
2. Ueda, J.M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, A., Barros, L., Caroch, M., Heleno, S.A., 2023. Powdered Foods: Structure, Processing, and Challenges: A Review. **Applied Sciences**, **13** (22): 12496.
3. Elvassore N, Kikic I, 2001. Pharmaceutical processing with supercritical fluids. pp. 612–625. *In: Industrial Chemistry Library* (Eds: A. Bertucco, G. Vetter). Elsevier, Netherlands.
4. Bhandari, B.R., Hartel, R.W., 2005. Phase Transitions During Food Powder Production and Powder Stability, pp. 261–292. *In: Encapsulated and Powdered Foods*, (Ed: C. Onwulata). CRC Press, New York.
5. Fitzpatrick J., 2013. Powder properties in food production systems, pp. 285–308. *In: Handbook of Food Powders: Processes and Properties* (Eds: B.R. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, P. Schuck). Elsevier Science, New York.
6. Berton, B., Scher, J., Villieras, F., Hardy J., 2002. Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics. **Powder Technology**, **128** (2-3): 326–331.
7. Hebrard, A., Oulahna, D., Galet, L., Cuq, B., Abecassis, J., Fages, J., 2003. Hydration properties of durum wheat semolina: influence of particle size and temperature. **Powder Technology**, **130** (1-3): 211–218.
8. Marinelli, J., Carson, J.W., 1992. Solve solids flow problems in bins, hoppers, and feeders. **Chemical Engineering Progress**, **88** (5): 22–28.
9. Fitzpatrick, J.J., Barringer, S. A., Iqbal, T., 2004. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, **61** (3): 399–405.
10. Crouter, A., Briens, L., 2013. The Effect of Moisture on the Flowability of Pharmaceutical Excipients, **American Association of Pharmaceutical Scientists**, **15** (1): 65-74.

11. Allen, T. 1990. Particle Size Measurement, Fourth Edition. Springer Netherlands, 806 pp.
12. Hagan, P. O., Hasapidis, K., Coder, A., Richey, N. P., Helsing, H., Pokrajac, G., 2005. Particle Size Analysis of Food Powders, pp. 215–245. *In: Encapsulated and Powdered Foods*, (Ed: C. Onwulata). CRC Press, New York.
13. Onwulata, C.I., 2005. Properties of Culinary Powders : Salt and Sugar, pp. 435–450. *In: Encapsulated and Powdered Foods*, (Ed: C. Onwulata). CRC Press, New York.
14. Ganesan, V., Rosentrater, K. A., Muthukumarappan, K., 2008. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS. **Biosystems Engineering**, **101** (4): 425–435.
15. Fitzpatrick, J.J., 2005. Food Powder Flowability, pp. 247–58. *In: Encapsulated and Powdered Foods*, (Ed: C. Onwulata). CRC Press, New York.
16. Stoklosa A.M., Lipasek, R.A., Taylor, L.S., Mauer, L.J., 2012. Effects of storage conditions, formulation, and particle size on moisture sorption and flowability of powders: A study of deliquescent ingredient blends. **Food Research International**, **49** (2): 783–791.
17. Aguilera, J.M., del Valle, J.M., Karel, M., 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science&Technology**, **6** (5): 149–155.
18. Chen, Y.L., Chou, J.Y., 1993. Selection of anti-caking agents through crystallization. **Powder Technology**, **77** (1): 1–6.
19. Palzer, S., 2005. The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. **Chemical Engineering Science**, **60** (14): 3959–3968.
20. Feeney, J., Fitzpatrick, J.J., 2011. Visualization of the caking behavior between two powder particles. **Particulate Science and Technology**, **29** (5): 397–406.
21. Hartmann, M., Palzer, S., 2011. Caking of amorphous powders – Material aspects, modelling and applications. **Powder Technology**, **206** (1-2): 112–121.
22. Craik, D.J., Miller, B.F., 1958. The flow properties of powders under humid conditions. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, **10** (51): 136T-144T.
23. Moreyra, R., Peleg, M., 1981. Effect of equilibrium water activity on the bulk properties of selected food powders. **Journal of Food Science**, **46** (6): 1918–1922.

24. Peleg, M., 1977. Flowability of food powders and methods for its evaluation- a review. **Journal of Food Process Engineering**, **1** (4):303–328.
25. Juliano, P., Barbosa-Cánovas, G.V., 2010. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual review of food science and technology**, **1**: 211–239.
26. Grey, R.O., Beddow, J.K., 1969. On the Hausner ratio and its relationship to some properties of metal powders. **Powder Technology**, **2** (6):323–326.
27. Koç, M., Koç, B., Güngör, Ö., Ertekin, F.K., 2012. The effects of moisture on physical properties of spray-dried egg powder. **Drying Technology**, **30** (6): 567–573.
28. Opaliński, I., Chutkowski, M., Stasiak, M., 2012. Characterizing moist food-powder flowability using a Jenike shear-tester. **Journal of Food Engineering**, **108** (1):51–58.
29. Teunou, E., Fitzpatrick, J.J., Synnott, E.C., 1999. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, **39** (1): 31–37.
30. Kamath, S., Puri, V.M., Manbeck, H.B., Hogg, R., 1993. Flow properties of powders using four testers - measurement, comparison and assessment. **Powder Technology**, **76** (3):277–289.
31. Carr, J.F., Walker, D.M., 1968. An annular shear cell for granular materials. **Powder Technology**, **1** (6): 369–373.
32. Lumay, G., Boschini, F., Traina, K., Bontempi, S., Remy, J.C., Cloots, R., Vandewalle, N., 2012. Measuring the flowing properties of powders and grains. **Powder Technology**, **224**:19–27.
33. Zhou, Y.C., Xu, B.H., Yu, A.B., Zulli, P., 2002. An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres. **Powder Technology**, **125** (1): 45–54.
34. Iileleji, K.E., Zhou, B., 2008. The angle of repose of bulk corn stover particles. **Powder Technology**, **187** (2):110–118.
35. Descamps, N., Palzer, S., Roos, Y.H., Fitzpatrick, J.J., 2013. Glass transition and flowability/caking behaviour of maltodextrin DE 21. **Journal of Food Engineering**, **119** (4):809–813.
36. Ermiş, E., 2015. Gıda tozları: Özellikleri ve karakterizasyonu. **Gıda**, **40** (5): 287–294.

37. Freeman, R., 2007. Measuring the flow properties of consolidated, conditioned and aerated powders — A comparative study using a powder rheometer and a rotational shear cell. **Powder Technology**, **174** (1): 25–33.
38. Crowley, S.V., Gazi, I., Kelly, A.L., Huppertz, T., O'Mahony, J.A., 2014. Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. **Journal of Food Engineering**, **135**: 31–38.
39. Carr, R.L., 1965. Evaluating flow properties of solids. **Chemical Engineering**, **72**:163–168.
40. Kuchii, S., Tomita, Y., 2002. Flushing phenomenon of fine powder. **Powder Technology**, **126** (3): 275–282.
41. Yang, L., Yang, M., Li, Q., Chen, Z., Chen, J., 2005. Experimental study on physical properties of coated rice seed. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, **21** (9): 7–11.
42. Hausner, H.H., 1967. Friction conditions in a mass of metal powder. **International Journal of Powder Metallurgy**, **3** (4): 7–13.
43. Stein, M., Ding, Y.L., Seville, J.P.K., Parker, D.J., 2000. Solids motion in bubbling gas fluidised beds. **Chemical Engineering Science**, **55** (22): 5291–5300.
44. Lindley, J.A., 1991. Mixing processes for agricultural and food materials: 3. Powders and particulates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, **49**: 1–19.
45. Barbosa-Canovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H., 2005. Food Powders. Springer, New York, 372 pp.
46. Muthukumarappan, K., 2009. Mixing Fundamentals, pp.6-20. *In*: Food Mixing: Principles and Applications (Ed.P.J. Cullen). Wiley.
47. Bayram, M., Göğüş, F., 2008. Mixing – Determining Mixing Parameters, pp. 3–19. *In*: Experiments in Unit Operations and Processing of Foods (Eds.M. Vieira, P. Ho). Springer, Boston, MA.
48. Rielly, C.D., Smith, D.L.O., Lindley, J.A., Niranjan, K., Phillips, V.R., 1994. Mixing processes for agricultural and food materials: Part 4, Assessment and monitoring of mixing systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, **59** (1):1–18.
49. Fan, L.T., Chen, S.J., Watson, C.A., 1970. Solids Mixing. **Industrial and Engineering Chemistry**, **62**: 53–69.

50. Weinekötter, R., Gericke, H. 2000. *Mixing of Solids*. Springer, Netherlands, 156 pp.
51. Fan, L.T., Shin, S.H., 1979. Stochastic diffusion model of non-ideal mixing in a horizontal drum mixer. **Chemical Engineering Science**, **34** (6): 811–820.
52. Danckwerts, P.V., 1952. The definition and measurement of some characteristics of mixtures. **Applied Scientific Research, Section A**, **3**:279–296.
53. Lacey, P.M.C., 1954. Developments in the theory of particle mixing. **Journal of Applied Chemistry**, **4** (5):257–268.
54. Rhodes, M., 2008. Mixing and Segregation, pp. 293–304. *In: Introduction to Particle Technology – Second Edition* (Ed. M. Rhodes). Wiley, England.
55. Gayle, J.B., Lacey, O.L., Gary, J.H., 1958. Mixing of solids: chi square as a criterion. **Industrial and Engineering Chemistry**, **50** (9):1279–1282.
56. Rosas, J.G., Blanco, M., 2012. A criterion for assessing homogeneity distribution in hyperspectral images. Part 1: homogeneity index bases and blending processes. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, **70**:680–690.
57. Miyanami, K., 2006. Mixing, pp. 577–589. *In: Powder Technology Handbook - Third Edition* (Eds. H. Masuda, K. Higashitani, H. Yoshida). CRC Press, Boca Raton.
58. Jin, X., Chandratilleke, G.R., Wang, S., Shen, Y., 2022. DEM investigation of mixing indices in a ribbon mixer. **Particuology**, **60**:37–47.
59. Mayer-Laigle, C., Gatumel, C., Berthiaux, H., 2015. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula® mixer. **Chemical Engineering Research and Design**, **95**:248–261.
60. Bridgwater, J., 2012. Mixing of powders and granular materials by mechanical means—A perspective. **Particuology**, **10** (4):397–427.
61. Cuq, B., Berthiaux, H., Gatumel, C., 2013. Powder mixing in the production of food powders. pp.200–229. *In: Handbook of Food Powders* (Eds. B. Bhandari, M. Zhang, N. Bansal, P. Schuck). Woodhead Publishing, Philadelphia.
62. Ortega-Rivas E., 2011. *Unit Operations of Particulate Solids: Theory and Practice*. CRC Press, Boca Raton, 492 pp.
63. Venables, H.J., Wells, J.I., 2001. Powder mixing. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, **27** (7):599–612.

64. McCarthy, J.J., 2009. Turning the corner in segregation. **Powder Technology**, **192** (2): 137–42.
65. Fitzpatrick, J.J., 2009. Particulate and Powder Mixing, pp. 269–287. *In: Food Mixing: Principles and Applications* (Ed. P.J. Cullen). Wiley.
66. Pernenkil, L., Cooney, C.L., 2006. A review on the continuous blending of powders. **Chemical Engineering Science**, **61** (2):720–742.
67. Brone, D., Alexander, A., Muzzio, F.J., 1998. Quantitative characterization of mixing of dry powders in V-blenders. **AIChE Journal**, **44** (2):271–278.
68. Chang, R-K., Chang, S-I., Robinson, J.R., 1992. A study of the performance of a modified V-shaped solids mixer using segregating materials. **International Journal of Pharmaceutics**, **80** (1-3):171–178.
69. Kuo, H.P., Knight, P.C., Parker D.J., Seville, J.P.K., 2005. Solids circulation and axial dispersion of cohesionless particles in a V-mixer. **Powder Technology**, **152** (1-3): 133-140.
70. Brone, D., Wightman, C., Connor, K., Alexander, A., Muzzio, F.J., Robinson, P., 1997. Using flow perturbations to enhance mixing of dry powders in V-blenders. **Powder Technology**, **91** (3):165–172.
71. Bauman, I., Ćurić, D., Boban, M., 2008. Mixing of solids in different mixing devices. **Sadhana**, **33** (6):721–731.
72. Dickey, D.S., 2015. Powder Blending Equipment, pp. 287–310. *In: Pharmaceutical Blending and Mixing* (Eds. P.J. Cullen, R.J. Románach, N. Abatzoglou, C.D. Rielly). John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom.
73. Harnby, N., 1992. The selection of powder mixers, pp. 42–61. *In: Mixing in the Process Industries* (Eds. N. Harnby, M.F. Edwards, A.W. Nienow). Butterworth-Heinemann.
74. Cavender, J., 2000. Quick, thorough, and gentle blending with a vertical ribbon mixer. **Powder and Bulk Engineering**, **14** (1): 46–57.
75. Dudley, L., Johanson, J., 2001. Choosing a blender based on your material's flow properties. **Powder and Bulk Engineering**, **15** (1):37–39.
76. Niranjana, K., Smith, D.L.O., Rielly, C.D., Lindley, J.A., Phillips, V.R., 1994. Mixing processes for agricultural and food materials: Part 5, review of mixer types. **Journal of Agricultural Engineering Research**, **59** (3):145–161.

77. Ortega-Rivas, E., 2005. Handling and Processing of Food Powders and Particulates, pp. 76–142. *In: Encapsulated and Powdered Foods*, (Ed. C. Onwulata). CRC Press, New York.
78. Kidane, S.W., 2021. Application of Response Surface Methodology in Food Process Modeling and Optimization, pp. 1–21. *In: Response Surface Methodology in Engineering Science* (Ed. P. Kayaroganam). IntechOpen.
79. Dalbudak, E., 2022. Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine literatür incelemesi. **Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, **4** (1):1–17.
80. Taguchi, G., 1986. Introduction to Quality Engineering : Designing Quality Into Products and Processes. Asian Productivity Organization, 191 pp.
81. Aslan Türker, D, Dogan, M., 2021. Effects of ultrasound homogenization on the structural and sensorial attributes of ice cream: optimization with Taguchi and data envelopment analysis. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **15** (6): 4888–4898.
82. Kumar, V., Sharma, H.K., Kaushal, P., Singh, K., 2015. Optimization of taro–wheat composite flour cake using Taguchi technique. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **9** (1):35–51.
83. Mayasti, N.K.I., Ushada, M., Ainuri, M., 2019. Optimization of gluten free spaghetti products from local food with the Taguchi method approach. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, **251** (1): 012031.
84. Morakinyo, T.A., Bamgboye, A.I., 2017. Performance characterization and optimization of a synchronized medium-scale oil palm fruit processing mill. **Journal of Food Process Engineering**, **40** (5): e12523.
85. Tasirin, S.M., Kamarudin, S.K., Ghani, J.A., Lee, K.F., 2007. Optimization of drying parameters of bird’s eye chilli in a fluidized bed dryer. **Journal of Food Engineering**, **80** (2):695–700.
86. Türkan, B., Etemoğlu, A.B., 2020. Optimization of parameters effecting food drying using Taguchi method. **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, **26** (4):654–65.
87. Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G., 2007. Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. **Materials & Designs**, **28** (4):1379–1385.

88. Okolie, J. A., Epelle, E. I., Nanda, S., Castello, D., Dalai, A. K., Kozinski, J. A., 2021. Modeling and process optimization of hydrothermal gasification for hydrogen production: A comprehensive review. **The Journal of Supercritical Fluids**, **173**: 105199.
89. Karaatlı, M., 2016. Entropi-Gri ilişkisel analiz yöntemleri ile bütünleşik bir yaklaşım: Turizm sektöründe uygulama. **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, **21** (1):63–77.
90. Arce, M. E., Saavedra, Á., Míguez, J. L., & Granada, E., 2015. The use of grey-based methods in multi-criteria decision analysis for the evaluation of sustainable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **47**:924-932.
91. Chen, T. Y., Li, C. H., 2010. Determining objective weights with intuitionistic fuzzy entropy measures: A comparative analysis. **Information Sciences**, **180** (21): 4207-4222.
92. Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., 2009. Weighting methodologies in multi-criteria evaluations of combined heat and power systems. **International Journal of Energy Research**, **33**(12): 1023-1039.
93. Koç, B., Kaymak-Ertekin, F., 2010. Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. **Gıda**, **35** (1): 1-8.
94. Julong, D., 1989. Introduction to grey system theory. **The Journal of Grey System**, **1**(1): 1-24.
95. Lu, H. S., Chang, C. K., Hwang, N. C., Chung, C. T., 2009. Grey relational analysis coupled with principal component analysis for optimization design of the cutting parameters in high-speed end milling. **Journal of Materials Processing Technology**, **209**(8):3808-3817.
96. Özdemir, O., Kiliçarslan, Ş., 2021. Entropi temelli gri ilişkisel analiz tekniği ile hayat ve emeklilik şirketlerinin finansal performansları üzerine bir araştırma. **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, **26** (4):413–434.
97. Cozzolino, D., Power, A., Chapman, J. J. F. A. M., 2019. Interpreting and reporting principal component analysis in food science analysis and beyond. **Food Analytical Methods**, **12**(11): 2469-2473.

98. Dıraman, H., Özdemir, D., Gündüz, H. H., Demirci, M., 2009. Trakya bölgesinde üretilen çeşitli süt ürünlerinin nitrat ve nitrit düzeylerine göre kemometrik yöntemlerle sınıflandırılması. **Gıda**, **34**(6): 387-394.
99. Kara, M.A.,2024. Kümeleme analizi yöntemleri ile fındık üretilen illerin incelenmesi. **Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, **14** (2):396–410.
100. AOAC International, 1995. AOAC International official methods of analysis. 16th ed. Washington, DC.
101. Kim, E. H. J., Chen, X. D., Pearce, D., 2009. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, **94**(2): 169-181.
102. Özboy-Özbaş, Ö., Köksel, H., 2003. Tritikale ve buğday bulgurlarının fiziksel, kimyasal ve pişirme özelliklerinin karşılaştırılması. **Gıda**, **28**:531–537.
103. Chau, C. F., Wang, Y. T., Wen, Y. L., 2007. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre. **Food Chemistry**, **100**(4): 1402-1408.
104. Jan, S., Ambrose, R.P.K., Saxena, D.C., 2017. Effect of grinding action on the flowability of rice flour. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **11**(2): 801–811.
105. Shah, R. B., Tawakkul, M. A., Khan, M. A., 2008. Comparative evaluation of flow for pharmaceutical powders and granules. **Aaps Pharmscitech**, **9**(1): 250–258.
106. Benković, M., Srećec, S., Špoljarić, I., Mršić, G., Bauman, I., 2013. Flow properties of commonly used food powders and their mixtures. **Food and Bioprocess Technology**, **6**(9): 2525-2537.
107. Lebrun, P., Krier, F., Mantanus, J., Grohgan, H., Yang, M., Rozet, E., Boulanger, B., Evrard, B., Rantanen, J., Hubert, P., 2012. Design space approach in the optimization of the spray-drying process. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, **80**(1): 226-234
108. Benković, M., Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Bauman, I., 2013. Physical properties of non-agglomerated cocoa drink powder mixtures containing various types of sugar and sweetener. **Food and Bioprocess Technology**, **6**(4): 1044-1058.

109. Landillon, V., Cassan, D., Morel, M. H., Cuq, B., 2008. Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. **Journal of Food Engineering**, **86**(2): 178-193.
110. Gijón-Arreortúa, I., & Tecante, A., 2015. Mixing time and power consumption during blending of cohesive food powders with a horizontal helical double-ribbon impeller. **Journal of Food Engineering**, **149**: 144-152.
111. Scherer, R., Rybka, A. C. P., Ballus, C. A., Meinhart, A. D., Teixeira Filho, J., Godoy, H. T., 2012. Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices. **Food Chemistry**, **135**(1): 150-154.
112. Üstüntağ, S., Şenyiğit, E., Mezarcıöz, S., Türksoy, H. G., 2022. Optimization of coating process conditions for denim fabrics by Taguchi method and grey relational analysis. **Journal of Natural Fibers**, **19**(2): 685-699.
113. Mori, T., 2011. Taguchi Methods: Benefits, Impacts, Mathematics, Statistics and Applications. ASME Press, New York, 1060 pp
114. Guldane, M., Dogan, M., 2022. Multi-response optimization of process parameters of saponin-based model foam using Taguchi method and gray relational analysis coupled with principal component analysis. **Journal of Food Processing and Preservation**, **46**(5): e16553.
115. Oliver Nesa Raj, S., Prabhu, S., 2017. Modeling and analysis of titanium alloy in wire-cut EDM using Grey relation coupled with principle component analysis. **Australian Journal of Mechanical Engineering**, **15**(3): 198-209.
116. Yuce, B. E., Nielsen, P. V., Wargocki, P., 2022. The use of Taguchi, ANOVA, and GRA methods to optimize CFD analyses of ventilation performance in buildings. **Building and Environment**, **225**: 109587.
117. Canbolat, A. S., Bademlioglu, A. H., Arslanoglu, N., Kaynakli, O., 2019. Performance optimization of absorption refrigeration systems using Taguchi, ANOVA and Grey Relational Analysis methods. **Journal of Cleaner Production**, **229**: 874-885.
118. Bademlioglu, A. H., Canbolat, A. S., Yamankaradeniz, N., Kaynakli, O., 2018. Investigation of parameters affecting organic rankine cycle efficiency by using Taguchi and ANOVA methods. **Applied Thermal Engineering**, **145**: 221-228.
119. Zhu, Y., Tian, D., Yan, F., 2020. Effectiveness of entropy weight method in decision-making. **Mathematical problems in Engineering**, **2020** (1): 3564835.

120. Deng, H., Yeh, C. H., Willis, R. J., 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. **Computers & Operations Research**, **27**(10): 963-973.
121. Wang, T. C., Lee, H. D., 2009. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. **Expert systems with applications**, **36**(5): 8980-8985.
122. Özcan, S., Çelik, A. K., 2021. A comparison of TOPSIS, grey relational analysis and COPRAS methods for machine selection problem in the food industry of Turkey. **International Journal of Production Management and Engineering**, **9**(2): 81-92.
123. Kuo, M. S., Liang, G. S., 2011. Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. **Expert Systems with Applications**, **38**(3): 1304-1312.
124. Sun, C. C., 2014. Combining grey relation analysis and entropy model for evaluating the operational performance: an empirical study. **Quality & Quantity**, **48**(3): 1589-1600.
125. Gunes, S., Senyigit, E., Karakaya, E., Ozceyhan, V., 2019. Optimization of heat transfer and pressure drop in a tube with loose-fit perforated twisted tapes by Taguchi method and grey relational analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **136**(4): 1795-1806.
126. Wu, W., Peng, Y., 2016. Extension of grey relational analysis for facilitating group consensus to oil spill emergency management. **Annals of Operations Research**, **238**(1): 615-635.
127. Türk Gıda Kodeksi Şeker Tebliği, 2022. T.C. Resmi Gazete, Sayı:31929.
128. Türk Gıda Kodeksi Bulgur Tebliği, 2017. T.C. Resmi Gazete, Sayı:29960.
129. Türk Gıda Kodeksi Pirinç Tebliği, 2011. T.C. Resmi Gazete, Sayı:27808.
130. Boac, J. M., Casada, M. E., Maghirang, R. G., Harner, J. P., 2009. Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles pp.1. 2009 Reno, Nevada, June 21 - June 24, 2009 American Society of Agricultural and Biological Engineers.
131. Chang, F., He, X., Fu, X., Huang, Q., Qiu, Y., 2014. Preparation and characterization of modified starch granules with high hydrophobicity and flowability. **Food Chemistry**, **152**: 177-183.

132. Cuq, B., Rondet, E., Abecassis, J., 2011. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**, **208**(2): 244-251.
133. Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., Sabeena, M., 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, **274**: 37-43.
134. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G. I., Ortega-Rivas, E., Zamudio-Flores, P. B., Perez-Vega, S., Sepulveda, D. R., 2019. Water activity, not moisture content, explains the influence of water on powder flowability. **Lwt**, **100**:35-39.
135. Ostrowska-Ligęza, E., Lenart, A., 2015. Influence of water activity on the compressibility and mechanical properties of cocoa products. **LWT-Food Science and Technology**, **60**(2): 1054-1060.
136. Shenoy, P., Xanthakis, E., Innings, F., Jonsson, C., Fitzpatrick, J., Ahrné, L., 2015. Dry mixing of food powders: Effect of water content and composition on mixture quality of binary mixtures. **Journal of Food Engineering**, **149**: 229-236.
137. Fournaise, T., Petit, J., Gaiani, C., 2021. Main powder physicochemical characteristics influencing their reconstitution behavior. **Powder Technology**, **383**: 65-73.
138. Koç, B., Koç, M., Baysan, U. 2021. Food powders bulk properties, pp. 1-36. *In*: Food Powders Properties and Characterization (Ed. E.Ermiş). Springer, Cham.
139. Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**, **26**(6):726-737.
140. Kurozawa, L. E., Morassi, A. G., Vanzo, A. A., Park, K. J., Hubinger, M. D., 2009. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. **Drying Technology**, **27**(11): 1248-1257.
141. Kwapińska, M., Zbiciński, I., 2005. Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. **Drying Technology**, **23**(8): 1653-1665.
142. Koç, M., Koç, B., Yilmazer, M. S., Ertekin, F. K., Susyal, G., Bağdatlıoğlu, N., 2011. Physicochemical characterization of whole egg powder microencapsulated by spray drying. **Drying Technology**, **29**(7): 780-788.
143. Toumia, L. B., Djouderb, R., Salema, Z., Alliaa, K., Mohammadia, C. S., 2011. Flow characteristics optimization of corn starch and microcrystalline cellulose

- mixture by wet granulation. **Chemical Engineering Transactions**, **24**: 1549-1554.
144. Shenoy, P., Viau, M., Tammel, K., Innings, F., Fitzpatrick, J., Ahrné, L., 2015. Effect of powder densities, particle size and shape on mixture quality of binary food powder mixtures. **Powder Technology**, **272**, 165-172.
 145. Nienow, A.W., Harnby, N., Edwards, M.F., 1997. Introduction to mixing problems, pp.1–24. *In*: *Mixing in the Process Industries* (Eds. N. Harnby, M.F. Edwards, A.W. Nienow). Butterworth-Heinemann.
 146. Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., 1999. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, **42**(2): 109-116.
 147. Yan, H., Barbosa-Cánovas, G. V., 1997. Compression characteristics of agglomerated food powders: effect of agglomerate size and water activity. **Food Science and Technology International**, **3**(5):351-359.
 148. Abu-hardan, M., Hill, S. E., 2010. Handling properties of cereal materials in the presence of moisture and oil. **Powder Technology**, **198**(1): 16-24.
 149. Landillon, V., Cassan, D., Morel, M. H., Cuq, B., 2008. Flowability, cohesive, and granulation properties of wheat powders. **Journal of Food Engineering**, **86**(2): 178-193.
 150. Mukherjee, S., Bhattacharya, S., 2006. Characterization of agglomeration process as a function of moisture content using a model food powder. **Journal of Texture Studies**, **37**(1): 35-48.
 151. Doğan, M., Aslan, D., Gürmeriç, V., Özgür, A., Saraç, M. G., 2019. Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: Principal component analyses (PCA) for flow and bioactive properties. **Powder Technology**, **344**: 222-232.
 152. Dogan, M., Türker, D. A., 2019. Determination of the cohesion, powder flow speed dependency and caking tendency of cocoa powders. **Academic Perspective Procedia**, **2**(3): 483-491.
 153. Santomaso, A., Lazzaro, P., Canu, P., 2003. Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. **Chemical Engineering Science**, **58**(13): 2857-2874.

154. Shipar, M.A.H., 2015. Affect of Wet Granulation on the Properties of Ascorbic Acid and Caffeine Tablets: A Comparative Study. **International Journal of Pharma Sciences and Research**, **6 (1)**:117–123.
155. Goh, H. P., Heng, P. W. S., Liew, C. V., 2018. Comparative evaluation of powder flow parameters with reference to particle size and shape. **International Journal of Pharmaceutics**, **547(1-2)**: 133-141.
156. Tan, G., AV Morton, D., Larson, I., 2015. On the methods to measure powder flow. **Current Pharmaceutical Design**, **21(40)**: 5751-5765.
157. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G. I., Zamudio-Flores, P. B., Perez-Vega, S., Salmeron, I., Ortega-Rivas, E., Sepulveda, D. R., 2022. A review on the influence of water on food powder flowability. **Journal of Food Process Engineering**, **45(5)**: e14031.
158. Suhag, R., Kellil, A., Razem, M., 2024. Factors influencing food powder flowability. **Powders**, **3(1)**: 65-76.
159. Etti, C. J., Yusof, Y. A., Chin, N. L., Tahir, S. M., 2016. Effects of formulation on flowability of selected herbal powders using compendial methods and powder flow analyser. **International Food Research Journal**, **23**: S225-S230.
160. Alexander, A. W., Chaudhuri, B., Faqih, A., Muzzio, F. J., Davies, C., Tomassone, M. S., 2006. Avalanching flow of cohesive powders. **Powder Technology**, **164(1)**: 13-21.
161. Moreno-Atanasio, R., Antony, S. J., Ghadiri, M., 2005. Analysis of flowability of cohesive powders using Distinct Element Method. **Powder Technology**, **158(1-3)**: 51-57.
162. Klausner, J. F., Chen, D., Mei, R., 2000. Experimental investigation of cohesive powder rheology. **Powder Technology**, **112(1-2)**: 94-101.
163. Thalberg, K., Lindholm, D., Axelsson, A., 2004. Comparison of different flowability tests for powders for inhalation. **Powder technology**, **146(3)**: 206-213.
164. Laurent, B. F. C., 2005. Structure of powder flow in a planetary mixer during wet-mass granulation. **Chemical Engineering Science**, **60(14)**: 3805-3816.
165. Fitzpatrick, J. J., Hodnett, M., Twomey, M., Cerqueira, P. S. M., O'flynn, J., Roos, Y. H., 2007. Glass transition and the flowability and caking of powders containing amorphous lactose. **Powder Technology**, **178(2)**: 119-128.

166. Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, **43**(2): 97-101.
167. Iqbal, T., Fitzpatrick, J. J., 2006. Effect of storage conditions on the wall friction characteristics of three food powders. **Journal of Food Engineering**, **72**(3): 273-280.
168. Fitzpatrick, J. J., 2020. Characterization of the caking behaviour of food powders, pp. 73-89. *In*: Food Powders Properties and Characterization (Ed. E. Ermiş). Springer, Cham.
169. Fitzpatrick, J. J., O'Connor, J., Cudmore, M., Dos Santos, D., 2017. Caking behaviour of food powder binary mixes containing sticky and non-sticky powders. **Journal of Food Engineering**, **204**: 73-79.
170. Benković, M., Srećec, S., Špoljarić, I., Mršić, G., Bauman, I., 2013. Flow properties of commonly used food powders and their mixtures. **Food and Bioprocess Technology**, **6**(9): 2525-2537.
171. Benković, M., Bauman, I., 2009. Flow properties of commercial infant formula powders, pp. 495-499. International Conference on Biotechnology and Food Engineering, September 25-27, 2009, Cario, Egypt
172. Bansal, V., Premi, M., Sharma, H. K., Nanda, V., 2017. Compositional, physical, functional attributes and flow characterization of spray-dried skim milk powder enriched with honey. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **11**(3): 1474-1485.
173. Juliano, P., Barbosa-Cánovas, G. V., 2010. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual Review of Food Science and Technology**, **1**(1): 211-239.
174. Barone, G., O'Regan, J., O'Mahony, J. A., 2019. Influence of composition and microstructure on bulk handling and rehydration properties of whey protein concentrate powder ingredients enriched in α -lactalbumin. **Journal of Food Engineering**, **255**: 41-49.
175. Hare, C., Zafar, U., Ghadiri, M., Freeman, T., Clayton, J., Murtagh, M. J., 2015. Analysis of the dynamics of the FT4 powder rheometer. **Powder Technology**, **285**: 123-127.
176. Nkurikiye, E., Pulivarthi, M. K., Bhatt, A., Siliveru, K., Li, Y., 2023. Bulk and flow characteristics of pulse flours: A comparative study of yellow pea, lentil, and

- chickpea flours of varying particle sizes. **Journal of Food Engineering**, **357**: 111647.
177. Du, H., Lu, H., Tang, J., Liu, H., 2023. Characterization of powder flow properties from micron to nanoscale using FT4 powder rheometer and PT-X powder tester. **Particuology**, **75**: 1-10.
 178. Aslan Türker, D., Göksel Saraç, M., Doğan, M., 2023. Development of gluten-free cake formulations: the role of tapioca & potato starch and quinoa in the rheological, textural and powder flow properties. **European Food Research and Technology**, **249**(3): 675-684.
 179. Aslan Tuerker, D., Goeksel Sarac, M., Doğan, M., 2024. Powder flow speed dependency, caking and cohesion behaviors of tomato powders as affected by drying methods. **International Journal of Food Engineering**, **20**(6): 451-461.
 180. Ozonur, D., Kılıç, D., Akdur, H. T. K., Bayrak, H., 2019. Temel bileşenler analizi ve yanıt yüzey yöntemi kullanılarak gıda sektöründe çoklu yanıtların optimizasyonu. **Erzincan University Journal of Science and Technology**, **12**(2): 734-744.
 181. Chen, H.H., Tsai, P.J., Chen, S.H., Su, Y.M., Chung, C.C., Huang, T.C., 2005. Grey relational analysis of dried roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). **Journal of Food processing and preservation**, **29**(3-4): 228-245.
 182. [Abu-hardan, M., Hill, S. E., 2010. Handling properties of cereal materials in the presence of moisture and oil. **Powder Technology**, **198** (1): 16-24.
 183. Shittu, T. A., Lawal, M. O., 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, **100**(1): 91-98.
 184. Toker, O. S., Dogan, M., Canyılmaz, E., Ersöz, N. B., Kaya, Y., 2013. The effects of different gums and their interactions on the rheological properties of a dairy dessert: a mixture design approach. **Food and Bioprocess Technology**, **6** (4): 896-908.
 185. Chang, R. K., Badawy, S., Hussain, M. A., Buehler, J. D., 1995. A comparison of free-flowing, segregating and non-free-flowing, cohesive mixing systems in assessing the performance of a modified V-shaped solids mixer. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, **21** (3): 361-368.

186. Perrault, M., Bertrand, F., Chaouki, J., 2010. An investigation of magnesium stearate mixing in a V-blender through gamma-ray detection. **Powder Technology**, **200**(3): 234-245.
187. Muzzio, F. J., Robinson, P., Wightman, C., Brone, D., 1997. Sampling practices in powder blending. **International Journal of Pharmaceutics**, **155** (2): 153-178.
188. Boussoffara, H., Gatumel, C., Malécot, B., Viau, M., Berthiaux, H., 2025. A rheological law to describe powder agitation in a lab-scale paddle mixer: Shear band observation and dimensional analysis. **Powder Technology**, **451**: 120469.
189. Krolczyk, J. B., 2016. The effect of mixing time on the homogeneity of multi-component granular systems. **Transactions of FAMENA**, **40**(1): 45-56.
190. Ottino, J. M., Khakhar, D. V., 2000. Mixing and segregation of granular materials. **Annual Review of Fluid Mechanics**, **32**(1): 55-91.
191. Golshan, S., Zarghami, R., Norouzi, H. R., Mostoufi, N., 2017. Granular mixing in nauta blenders. **Powder Technology**, **305**: 279-288.
192. Pandey, R. K., Panda, S. S., 2015. Optimization of multiple quality characteristics in bone drilling using grey relational analysis. **Journal of Orthopaedics**, **12**(1): 39-45.
193. Qu, W., Li, J., Song, W., Li, X., Zhao, Y., Dong, H., Wang, Y., Zhao, Q., Qi, Y., 2022. Entropy-weight-method-based integrated models for short-term intersection traffic flow prediction. **Entropy** **2022**, **24**(7): 849.
194. Rielly, C.D., 2015. Mixing Theory, pp. 1–25. *In: Pharmaceutical Blending and Mixing* (Eds. P.J. Cullen, R.J. Románach, N. Abatzoglou, C.D. Rielly). John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom.
195. Muzzio, F. J., Goodridge, C. L., Alexander, A., Arratia, P., Yang, H., Sudah, O., Mergen, G., 2003. Sampling and characterization of pharmaceutical powders and granular blends. **International Journal of Pharmaceutics**, **250**(1): 51-64.
196. Alian, M., Ein-Mozaffari, F., Upreti, S. R., Wu, J., 2015. Using discrete element method to analyze the mixing of the solid particles in a slant cone mixer. **Chemical Engineering Research and Design**, **93**: 318-329.
197. Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Hweage, A. M. A., 2008. Mixing behavior of binary polymer particles in bubbling fluidized bed. **Journal of Physical Science**, **19**(1): 13-29.

198. Mendez, A. S., de Carli, G., Garcia, C. V., 2010. Evaluation of powder mixing operation during batch production: application to operational qualification procedure in the pharmaceutical industry. **Powder Technology**, **198**(2): 310-313.
199. Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Hweage, A. M. A., 2009. Mixing process of binary polymer particles in different type of mixers. **Modern Applied Science**, **3**(6): 88-95.
200. Chou, S. H., Song, Y. L., Hsiau, S. S., 2011. A study of the mixing index in solid particles. **KONA Powder and Particle Journal**, **34**: 275-281.
201. Lemieux, M., Bertrand, F., Chaouki, J., Gosselin, P., 2007. Comparative study of the mixing of free-flowing particles in a V-blender and a bin-blender. **Chemical Engineering Science**, **62**(6): 1783-1802.
202. Chowhan, Z. T., Linn, E. E., 1979. Mixing of pharmaceutical solids. I. Effect of particle size on mixing in cylindrical shear and V-shaped tumbling mixers. **Powder Technology**, **24**(2): 237-244.
203. Cahn, D. S., Healy, T. W., Fuerstenau, D. W., 1965. Blender geometry in mixing of solids. **Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development**, **4**(3): 318-322.
204. Carstensen, J. T., Patel, M. R., 1977. Blending of irregularly shaped particles. **Powder Technology**, **17**(3): 273-282.
205. Harnby, N., 1967. A comparison of the performance of industrial solids mixers using segregating materials. **Powder technology**, **1**(2): 94-102.
206. Samyn, J. C., Murthy, K., 1974. Experiments in powder blending and unblending. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, **63**(3): 370-375.
207. Bouhaouche, A., Kaoua, S., Daoud, K., 2019. Numerical simulation of free flowing particles mixing in V-blender. **Granular Matter**, **21**(2): 35.
208. Poux, M., Fayolle, P., Bertrand, J., Bridoux, D., Bousquet, J., 1991. Powder mixing: some practical rules applied to agitated systems. **Powder Technology**, **68**(3): 213-234.
209. Bhalode, P., Ierapetritou, M., 2020. A review of existing mixing indices in solid-based continuous blending operations. **Powder Technology**, **373**: 195-209.
210. Rosas, J. G., Blanco, M., 2012. A criterion for assessing homogeneity distribution in hyperspectral images. Part 2: Application of homogeneity indices to solid

- pharmaceutical dosage forms. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, **70**: 691-699.
211. Kaye, B. H., 1997. Powder Mixing. Chapman & Hall, London. 264 pp.
 212. Susana, L., Canu, P., Santomaso, A. C., 2011. Development and characterization of a new thief sampling device for cohesive powders. **International Journal of Pharmaceutics**, **416**(1): 260-267.
 213. Salloum, N., Brinz, T., Atxutegi, A., Heinrich, S., 2025. Design and optimization of stirrer and mixer design for the correct mixing of pharmaceutical powders through DEM. **Powder Technology**, **449**: 120413.
 214. Williams, J. C., 1968. The mixing of dry powders. **Powder Technology**, **2**(1): 13-20.
 215. Lacey, P. M. C., 1997. The mixing of solid particles. **Chemical Engineering Research and Design**, **75**: S49-S55.
 216. Lacey, P. M. C., 1954. Developments in the theory of particle mixing. **Journal of Applied Chemistry**, **4**(5): 257-268.
 217. Feng, Y. Q., Xu, B. H., Zhang, S. J., Yu, A. B., Zulli, P., 2004. Discrete particle simulation of gas fluidization of particle mixtures. **AIChE Journal**, **50**(8): 1713-1728.
 218. Cho, M., Dutta, P., Shim, J., 2017. A non-sampling mixing index for multicomponent mixtures. **Powder Technology**, **319**: 434-444.
 219. Chandratilleke, G. R., Yu, A. B., Bridgwater, J., Shinohara, K., 2012. A particle-scale index in the quantification of mixing of particles. **AIChE Journal**, **58**(4): 1099-1118.
 220. Siraj, M. S., Radl, S., Glasser, B. J., Khinast, J. G., 2011. Effect of blade angle and particle size on powder mixing performance in a rectangular box. **Powder Technology**, **211**(1): 100-113.
 221. Asmar, B. N., Langston, P. A., Matchett, A. J., 2002. A generalised mixing index in distinct element method simulation of vibrated particulate beds. **Granular Matter**, **4**(3): 129-138.
 222. Ansuree, P., Sudajan, S., Junsiri, C., Laloon, K., 2021. Effect of mixing speed and time on the homogeneity of multi-particle size sugarcane leaves product in horizontal paddle mixer for pelletized. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, **27**(5): 1009-1019

223. Leng, C., Sun, C., Liao, Z., Xu, J., 2024. Quantitative characterization of granular size segregation: A critical review. **Particuology**, **95**: 166-177.
224. Dogan, M., Aslan, D., Ozgur, A., 2018. Bioactive and sensorial characteristics of the milk based herbal (*Rumex crispus* L.) tea: multi-criteria decision making approach. **Journal of Food Measurement and Characterization**, **12**(1): 535-544.
225. Hu, Y., Liu, H., Tang, W., 2022. Quality evaluation of three kinds of hickories based on grey relational analysis and entropy-weight theory. **Journal of Food Quality**, **2022**(1): 6676280.
226. Toprak, İ. B., 2024. Eriyik Yığılma Modelleme Süreci Parametrelerinin Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Çoklu Yanıt Optimizasyonu. **Manufacturing Technologies and Applications**, **5**(2): 89-103.
227. Raju, B. S., Sekhar, U. C., Drakshayani, D. N., 2017. Grey relational analysis coupled with principal component analysis for optimization of stereolithography process to enhance part quality. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, **225** (1): 012228.
228. Sehgal, A. K., 2018. Grey relational analysis coupled with principal component analysis to optimize the machining process of ductile iron. **Materials Today: Proceedings**, **5** (1): 1518-1529.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Vildan GÜRMERİÇ

Uyruğu : Türkiye (TC)

EĞİTİM

Doktora : Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2025

Yüksek Lisans : Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008

Lisans : Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği, 2003

Lisans: İstanbul Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, 2022

YABANCI DİL

İngilizce (İyi)

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görev
2004 – 2008	Bayrak Gıda San. ve Tic. A.Ş.	Kalite Yönetim Müdürü
2011 – 2013	Bayrak Gıda San. ve Tic. A.Ş.	Kalite ve Arge Yöneticisi
2021 – 2023	Ural Yemek Tic. Ltd. Şti.	Sorumlu Müdür
2022 – 2023	Deneyap Teknoloji Atölyeleri	Eğitmen

YAYINLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- **Gürmeriç V, Doğan M.** A new approach to evaluate mixing time in a V-type powder mixer: Taguchi weighted grey relational analysis. European Food Research and Technology 2023. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04406-7>.

- Doğan M, Aslan D, **Gürmeriç V**, Özgür A, Göksel Saraç M. Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: Principal component analyses (PCA) for flow and bioactive properties. *Powder Technol* 2019;344:222–32. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.030>.
- Dogan M, Aslan D, **Gurmeric V**. The rheological behaviors and morphological characteristics of different food hydrocolloids ground to sub-micro particles: in terms of temperature and particle size. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2017;12:770–80. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9691-2>.
- **Gurmeric VE**, Dogan M, Toker OS, Senyigit E, Ersoz NB. Application of Different Multi-criteria Decision Techniques to Determine Optimum Flavour of Prebiotic Pudding Based on Sensory Analyses. *Food Bioproc Tech* 2013;6:2844–59. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0972-9>.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

- Doğan, M., Aslan, D., **Gurmeric, V.**, (2015). Rheological interaction of natural mic-particle food polymers in different temperatures, The 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015, Zurich, Switzerland.
- Aslan, D., **Gurmeric, V.**, Doğan, M., (2015). Rheological Interactions between Food Starch and Biyopolymers, The 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials, Miskolc, Hungary.
- **Gurmeric, V.**, Aslan, D., Doğan, M., (2015). Determination of the Flow Properties of Starch with Differeny Origins, The 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials, Miskolc, Hungary
- Altuntaş F., Dogan, M., **Gurmeric V.**, Aslan D., (2015). Determination of flow stability of dietary food fibers by using powder rheometer, The 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015, Zurich, Switzerland.
- Kalitekin, S., Dogan, M., Aslan D., **Gurmeric V.**, (2015). Viscosity and powder rheology of a tradational powdered dessert: Incir Uytması, The 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015, Zurich, Switzerland.
- Doğan M., **Gurmeriç V.**, (2015). Characterisation Of The Flowability Of The Instant Pudding And Baking Powder By Using Powder Rheometer, The 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015, Zurich, Switzerland.

- Dogan M., **Gürmeriç V.**, Ersöz N.B., (2012). Model Hazır Toz Kremşanti Ortamında Gum Sinerjisi, Türkiye 11. Gıda Kongresi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye.
- **Gurmeric V.**, Dogan M., (2010). Production of Instant Pudding with Dietary Food Fibers, Kiel Food Science Symposium, Kiel, Germany.
- **Er, V.**, Dogan, M.,(2007). Technological and chemical characteristics of some dietary fibers used in food industry, 2 nd. International Congress on Food and Nutrition. Istanbul, Türkiye.
- **Er, V.**, Dogan, M. (2006). Potential effect of prebiotics to reduce the risk of colorectal cancer. 2nd International Congress on Functional Foods and Nutraceuticals. Istanbul, Türkiye.

SERTİFİKALAR – KATILIMLAR

- The 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015, Zürih, Haziran 2015.
- 2nd International Congress on Food and Nutrition, İstanbul, Ekim 2007.
- 2nd International Congress On Functional Foods and Nutraceuticals, İstanbul, Mayıs 2006.

DESTEKLENEN PROJELER

- “V-Tipi Mikserlerde Toz Gıda Karışımlarının Optimizasyonu”, Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, FDK-2015-5831, Araştırmacı, 2023.
- "Nano Partikül Doğal Gıda Polimerlerinin Farklı Sıcaklıklardaki Etkileşimlerinin Reolojik Yönden İncelenmesi, Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, FBA-2012-4077, Araştırmacı, 2014.
- "Prebiyotik Toz Puding Üretimi", Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje, FBT-06-45, Araştırmacı, 2008.