



**DENEY TASARIMI İÇİN
YANIT YÜZEY YÖNTEMİNİN KULLANIMI**

Fazilet ÇALIŞKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

Fazilet ÇALIŞKAN

06/11/2024

DENEY TASARIMI İÇİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİNİN KULLANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Fazilet ÇALIŞKAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2024

ÖZET

Deney tasarımı, faktörler ile yanıtlar arasındaki ilişkiyi matematiksel modeller yardımıyla belirlemek için kullanılan uygulamalı istatistiğin bir dalıdır. İlişkinin belirlenmesinde, yanıt üzerinde etkisi olan faktörler ve bu faktörlere ilişkin optimum seviyeler bulunmak istenir. Bu amaç için yanıt yüzey yöntemi tercih edilir. Yanıt yüzey yöntemi, birçok değişken arasındaki karmaşık etkileşimleri anlamak için kullanılır. Bu yöntem, deneyleri belirli bir "yanıt yüzeyi" üzerinde yer alan noktalarda yaparak, bu noktalar arasındaki etkileşimleri analiz eder. Temelde, yanıt yüzey yöntemi, matematiksel modelleme ve deneylerin sistemli bir şekilde planlanması üzerine kuruludur. Deney sayısı azaltılarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini de minimum yapan bir deney tasarımı yapılmaktadır. Uygun yöntemin seçilmesi zaman ve maddi yönden avantajlıdır. Yanıt yüzey yöntemleri arasında en yaygın ve popüler olanlar merkezi bileşik ve Box-Behnken tasarımlardır. Bu tezde yulaf kepeği ekmeğinin yapımında kullanılan; yulaf kepeği (%0, %10, %20), maya miktarı (%2, %4, %6) ve fermantasyon süresi (60 dakika, 80 dakika, 100 dakika) faktörlerinin, fitik asit miktarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk olarak veri seti ve süreç için uygun olduğundan dolayı Box-Behnken tasarım tercih edilmiştir. Ardından sürecin doğru ve etkili bir şekilde yürütülmesi için gerekli varsayımlar kontrol edilmiştir. Bu varsayımların doğruluğu altında bir matematiksel model tanımlanmıştır. Oluşturulan matematiksel model, istatistiksel yöntemler ve grafikler yardımıyla geliştirilerek sadece yanıt üzerinde etkisi olan faktörlere indirgenmiştir. İşlem sonunda ise optimizasyon gerçekleştirilerek fitik asit miktarını minimum değere indirgeyen optimum faktör seviyeleri elde edilmiştir. Bu tezin amacı, tepki yüzeylerinin nasıl tasarlandığı ve analiz edildiğine dair bir bakış açısı sağlamaktır.

Bilim Kodu : 20507
Anahtar Kelimeler : Yanıt yüzey yöntemi, faktöriyel tasarım, Box-Behnken
Sayfa Adedi : 60
Danışman : Prof. Dr. Hülya BAYRAK

APPLICATION OF RESPONSE SURFACE METHODOLOGY TO
FACTORIAL DESIGNS

(M. Sc. Thesis)

Fazilet ÇALIŞKAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2024

ABSTRACT

Design of experiments is a branch of applied statistics used to determine the relationship between factors and responses with the help of mathematical models. In determining this relationship, it is desirable to find the factors that impact the response and the optimum levels related to these factors. For this purpose, the response surface method is preferred. The response surface method is used to understand complex interactions between many variables. This method analyzes the interactions between these points by conducting experiments at points located on a given "response surface". Essentially, the response surface method relies on mathematical modeling and systematic planning of experiments. By reducing the number of experiments, an experimental design is created that minimizes the effect of uncontrollable factors. Choosing the appropriate method is advantageous in terms of time and money. Among the response surface methods, the most common and popular is the central composite and Box-Behnken designs. In this thesis, oat bran used in the production of bread; the effects of oat bran (0%, 10%, 20%), yeast amount (2%, 4%, 6%), and fermentation time (60 minutes, 80 minutes, 100 minutes) factors on the amount of phytic acid were investigated. First of all, the Box-Behnken design was preferred because it was suitable for the data set and the process. Then, the assumptions required for the correct and effective execution of the process were checked. Under the correctness of these assumptions, a mathematical model was defined. The mathematical model was developed with the help of statistical methods and graphs and reduced to include only the factors that had an effect on the response. At the end of the process, optimization was performed and optimum factor levels were obtained that reduced the amount of phytic acid to a minimum. The purpose of this thesis is to provide perspective on how response surfaces are designed and analyzed.

Science Code : 20507

Key Words : Response surface method, factorial design, Box-Behnken

Page Number : 60

Supervisor : Prof. Dr. Hülya BAYRAK

TEŞEKKÜR

Her zaman yanımda olan başta sevgili aileme ve bu süreçte her konuda yardımlarını benden esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Hülya BAYRAK' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY TASARIMI	3
2.1. Deney Tasarımının Tarihçesi.....	5
2.2. Deney Tasarımının İlkeleri.....	6
2.3. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları	6
3. FAKTÖRİYEL TASARIMLAR	9
3.1. Etkileşim Etkisi.....	10
3.1.1. 2 ^k Faktöriyel tasarım.....	11
3.2. 2 ^k Tasarımda Bloklama ve Etki Karışımı	16
3.3. 3 ^k Faktöriyel Tasarımlar	16
4. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ	17
4.1. Yanıt Yüzey Yönteminin Tarihçesi	20
4.2. Yanıt Yüzey Yönteminde Modelin Oluşturulması.....	21
5. BİRİNCİ DERECEDEN MODELLER	23
5.1. Birinci Dereceden Tasarımlar	24

6. İKİNCİ DERECEDEDEN MODELLER	25
6.1. İkinci Dereceden Tasarımlar	25
6.2. Yüksek Dereceli Tasarımlar İçin Faktör Düzeyleri	25
6.3. Box Behnken Tasarımlar	27
7. UYGULAMA	29
7.1. Yulaf Ekmeğinde Bulunan Fitik Asit Miktarını Minimum Yapmak İçin Box Behnken Tasarımının Kullanımı	30
7.2. Yanıt Yüzey ve Contour Grafiği	46
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 2 ² Tasarım matrisi.....	13
Çizelge 3.2. İki faktörlü tasarım için kombinasyonların toplam etkilerinin hesaplanması	13
Çizelge 3.3. 2 ³ Tasarım matrisi.....	14
Çizelge 3.4. Üç faktörlü tasarım için kombinasyonların toplam etkilerinin hesaplanması	15
Çizelge 7.1. Yulaf kepeğine değişik maya miktarları ve fermantasyon süreleri uygulanarak yapılan yulaf ekmeklerinin fitik asit miktarları	31
Çizelge 7.2. Faktörlerin kodlanması	32
Çizelge 7.3. Model özeti.....	35
Çizelge 7.4. Varyans analizi tablosu	36
Çizelge 7.5. Model özeti.....	41
Çizelge 7.6. 3 ³ Varyans analizi tablosu	42

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Faktörler arasında etkileşim olmadığı durum	10
Şekil 3.2. Faktörler arasında etkileşim olduğu durum	11
Şekil 3.3. 2 ² Faktöriyel tasarımda A ve B faktörlerinin etkileri	12
Şekil 3.4. 2 ³ Faktöriyel tasarımda A, B ve C faktörlerinin etkileri.....	14
Şekil 6.1. Doğrusal fonksiyon.....	25
Şekil 6.2. İkinci dereceden işlev	26
Şekil 6.3. Kübik fonksiyon	26
Şekil 6.4. Üç faktör için bir BBD	28
Şekil 7.1 Artıkların normal olasılık grafiği	33
Şekil 7.2. Artıkların sınır grafiği.....	34
Şekil 7.3. Artıklara göre uyum grafiği	35
Şekil 7.4. Standartlaştırılmış etkilerin pareto grafiği	38
Şekil 7.5. Artıkların normal olasılık grafiği	39
Şekil 7.6. Artıkların sınır grafiği	40
Şekil 7.7. Artıkların uyum grafiği.....	41
Şekil 7.8. Standartlaştırılmış artıkların pareto grafiği	43
Şekil 7.9. Fitik Asit için ana etki grafiği	44
Şekil 7.10. Fitik Asit miktarı için etkileşim etkisi grafiği	45
Şekil 7.11. Fermantasyon sabit tutulduğunda contour grafiği.....	47
Şekil 7.12. Fermantasyon sabit tutulduğunda yanıt yüzeyi grafiği	47
Şekil 7.13. Maya sabit tutulduğunda contour grafiği	49
Şekil 7.14. Maya sabit tutulduğunda yanıt yüzey grafiği.....	49
Şekil 7.15. Yulaf sabit tutulduğunda contour grafiği	51

Şekil	Sayfa
Şekil 7.16. Yulaf sabit tutulduğunda yanıt yüzey grafiği.....	51
Şekil 7.17. Fitik Asiti en düşük yapan faktör düzeyleri	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANOVA

Varyans Analizi

BBD

Box Behnken Tasarımı

CCD

Merkezi Birleşik Deneme Düzeni

DoE

Deney Tasarımı

RSM

Yanıt Yüzey Yöntemi

1. GİRİŞ

Deney tasarımı, birçok alanda bilimsel araştırmaların temelini oluşturan önemli bir süreçtir. Ancak, deneylerin planlanması ve uygulanması sıklıkla maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Deney tasarımı, faktörlerin ve seviyelerinin sistematik bir şekilde seçilmesi ve düzenlenmesi sürecidir. Ayrıca parametre değerlerini etkileyen faktörleri değerlendirmek için kontrollü testlerin planlanmasını, yürütülmesini, analiz edilmesini ve yorumlanmasını içeren uygulamalı istatistiğin bir dalıdır. Deneysel çalışmalarda çoklu korelasyona sahip yanıt değişkenler sıklıkla bulunmaktadır. Yanıt değişkenden istenen verimi almak için süreç boyunca faktörler ve bu faktörlerle etkileşim halinde bulunan çok sayıda faktörün optimum değeri belirlenir. Yanıt yüzey yöntemi, bu zorlukları aşmak için geliştirilmiş bir yöntemdir ve deney tasarımı ilkelerine dayanır. Bu yöntem, deney sayısını minimize ederek, istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmeyi hedefler. Süreç optimizasyonu için en iyi yöntem yanıt yüzey yöntemidir. Bu süreç, yalnızca optimum koşulları belirlemekle kalmayacak, aynı zamanda bir sürecin tasarımı için gerekli bilgileri de sağlayacaktır. Hedefi gerçekleştirmek amacıyla deney için uygun tasarımın seçilmesi, uygulanması ve yorumlanması oldukça önemlidir. İstenilen değerleri elde etmeyi sağlayan faktörleri belirlemek verimi artıracaktır. Böylece süreçte süreklilik sağlanarak geriye dönük bir çalışmanın yinelenmesinin önüne geçilir (Mercan, 2019).

Ekmek, günümüzde tüketilen gıdaların başında gelir ve bu yüzden insan sağlığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. İnsan sağlığını tehdit etmemesi adına doğru bileşenlerin doğru oranlarda kullanılması gerekir. Bu bileşenleri doğru oranlarda kullanmak için de birden fazla faktör rol oynar. Bu faktörlerin birbirleriyle ilişkisi ve hangisinin ekmek yapımında daha önemli olduğu istatistiksel analizler kullanılarak incelenebilir. Yapılan araştırmalara göre hububat, baklagil ve yağlı tohumlarda doğal olarak bulunan fitik asit, insan beslenmesinde önemli minerallerle birleşerek bu minerallerin emilimini zorlaştırır. Fitik asidin minerallerle oluşturduğu fitatlar ayrıca protein emilimini de olumsuz etkileyebilir. Fitik asit, çinko, demir, kalsiyum, magnezyum ve bakır gibi insan beslenmesi için gerekli minerallerle kompleksler oluşturarak bu minerallerin emilimini azaltan bir besin bileşenidir (Bilgiçli, 2002).

Bu çalışmada yulaf ekmeğinin yapımında kullanılan; yulaf kepeği, maya miktarı ve

fermantasyon süresi faktörlerinin, fitik asit miktarı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk olarak veri seti ve süreç için uygun olduğundan dolayı Box Behnken tasarımı tercih edilmiştir. Ardından sürecin doğru ve etkili bir şekilde yürütülmesi için gerekli varsayımlar kontrol edilmiştir. Bu varsayımların doğruluğu altında bir matematiksel model tanımlanmıştır. Oluşturulan matematiksel model, istatistiksel yöntemler ve grafikler yardımıyla geliştirilerek sadece yanıt üzerinde etkisi olan faktörlere indirgenmiştir. Son olarak optimizasyon gerçekleştirilerek fitik asit miktarını minimum değere indirgeyen optimum faktör seviyeleri elde edilmiştir.

2. DENEY TASARIMI

Deneyler, bir sistemi ya da belirli bir süreci tanımlamak, anlamak ve yorumlamak için kullanılırlar. Deney tasarımı (Design Of Experiments (DoE)), deney sonuçlarını etkileyebilecek faktörleri belirlemek, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en aza indirmek ve çeşitli faktörlerle ilişkili etkileri değerlendirmek ve ayırt etmek amacıyla kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Erdil, 2020).

DoE, belirli bir sürecin veya sistemin performansını incelemek ve optimize etmek için sistematik ve kontrollü bir şekilde deneyler planlama ve yürütme sürecidir. Deney tasarımının amacı, faktörlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerini belirlemek ve bu etkileri optimize etmektir. Deney tasarımı, bilimsel araştırmalarda, mühendislikte, tıpta, gıda biliminde ve birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılır (Demir ve diğerleri, 2017).

Deneyde, yanıt değişkeni (genellikle bağımlı değişken olarak adlandırılır) üzerindeki gözlemlenen verileri açıklamayı amaçlayan istatistiksel bir modelde bağımsız değişkenler (açıklayıcı değişkenler olarak da adlandırılır) hakkında veri içerir. Bağımsız değişkenler faktörler ve faktörlerin alabileceği farklı değerler düzeylerdir. Deney sonucunda ölçülen değerler yanıtlardır. Toplanan veriler, istatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilir. Bu aşamada, faktörlerin ve etkileşimlerin yanıt üzerindeki etkileri belirlenir. Faktörlerin yanıt değişkeni üzerindeki etkilerini modellemek için regresyon analizi kullanılır. Deney verilerinin analizinde, faktörlerin ve etkileşimlerin anlamlılığını test etmek için yaygın olarak ANOVA (Analysis of Variance) kullanılır. ANOVA, test edilen örneklerin ortalama performansları arasındaki değişkenliği ortaya çıkarmak için kullanılan istatistiksel bir analiz yöntemidir, yani deneysel tasarımın temeli varyans analizine dayanmaktadır (Özkan, 2019).

Deney tasarımı, bilimsel ve endüstriyel araştırmalarda sistematik bir yaklaşım sunarak, daha az sayıda deneyle daha fazla bilgi elde edilmesini sağlar. Faktörlerin ve düzeylerin dikkatlice seçilmesi ve uygun deney tasarımının kullanılması, süreç optimizasyonunu ve verimliliğini artırır. Bu, hem zaman hem de maliyet açısından önemli avantajlar sağlar. Bu nedenle iki düzeyli ya da üç düzeyli deneysel tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. İki düzeyli tasarımlar, tam faktöriyel tasarım, tam olmayan Faktöriyel Tasarım, Plackett Burman ve Taguchi

Tasarımlarıdır. Üç düzeyli tasarımlar ise, Merkezi Birleşik Deneme Düzeni, Doehlert Tasarımı ve Box Behnken tasarımlarıdır (Elyas, 2011).

Deney tasarımı sürecinde değişkenler ile hedef arasında analitik bir bağ kurmak gereklidir. Böyle bir bağ ortaya konamaz ise başka yöntemler seçilmelidir.

Deney tasarımında seçim yapabilmek, deneyin amaçlarına ve araştırılacak faktörlerin sayısına bağlıdır. Deneme düzenlerinin hepsinde temel amaç üzerinde durulan yanıt değişkenine etkisi olabileceği düşünülen faktörlerin dikkate alınması ve deneme hatasının minimuma indirilmesidir (Kılıç ve diğerleri, 2018).

Tasarım türleri karşıladıkları deneysel amaca göre aşağıda açıklanmıştır:

Karşılaştırmalı amaç: Bir veya daha fazla faktörün incelenmesinde, deneydeki kritik faktörlerin anlamlı olup olmadığı değerlendirilir. Önemli olan, bu faktörlerin farklı seviyelerinin yanıtta dikkate değer bir değişiklik yaratıp yaratmadığıdır. Bu durumda, faktörlerin karşılaştırılması söz konusu olur.

Tarama amacı: Deneydeki hedef, birkaç önemli ana etkiyi belirleyip diğerlerini elemektir. Bu tür tasarımlar, ana etki tasarımları olarak da bilinir.

Yanıt Yüzeyi hedefi: Deney, etkileşimleri tahmin edebilecek şekilde tasarlanır. Yanıt yüzey yöntemleri tasarımlarının kullanım amaçları şunlardır:

- Optimum işlem seviyesini bulmak veya iyileştirmek,
- Süreç sorunlarını ve sürecin zayıf noktalarını ortadan kaldırmak,
- Bir ürünü veya süreci kontrol edilemeyen etkiler karşısında daha dayanıklı hale getirmek.

Faktörler bir karışımın oranları olduğunda yanıtları optimize etme hedefi: Faktörlerin en uygun oranlarını belirlemek ve bir yanıtı en üst düzeye çıkarmak veya en aza indirmek amacıyla kullanılan bir karışım tasarımıdır.

Regresyon modeli hedefinin optimal uyumu: Yanıtı bilinen veya deneysel olarak modellemek için, yansız ve minimum varyanslı model parametre tahminleri elde etmek amacıyla regresyon tasarımı kullanılmalıdır (Url - 1).

2.1. Deney Tasarımının Tarihçesi

Deney tasarımı 1920'li yılların başında Ronald Fisher tarafından farklı gübrelerin çeşitli topraklar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Rothamsted Tarım Alanı Araştırma Merkezi'nde kullanılmıştır. Gübre çeşidine ek olarak topraktaki nem ve bakteri çeşidi gibi değişkenlerin de etkisinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum daha sonra tarım ve biyoloji alanındaki deney tasarımı çalışmalarına öncü olmuştur. Ayrıca deney tasarımı Amerikalı ve Avrupalı üreticiler tarafından desteklenmiştir (Montgomery, 2017).

1970'li yıllara kadar Amerika'da üretim alanında pek yaygın olmayan deney tasarımı, 1980'lerde Amerika'nın Japonya'daki kalite standartlarının nedenlerini araştırmasıyla önem kazandı. Bu dönemde özellikle kimya ve ilaç sektöründe uygulanan deney tasarımı, Japonya'da Dr. Genichi Taguchi'nin önderliğinde sıkça kullanıldı ve onun yöntemi, üretim alanında geniş kabul gördü (Şirvancı, 1997).

Fisher' dan sonra Yates çalışmalara devam etmiştir. Blok tasarımlar ve faktöriyel deneyler üzerine metod analizleri yapmıştır. "Yates Sıralaması" olarak bilinen yöntem, deney tasarımının temellerini oluşturmuştur.

2.2. Deney Tasarımının İlkeleri

Rassallaştırma, tekrarlama ve bloklama kullanılan 3 temel ilkedir.

Rassallaştırma: İlk olarak Fisher tarafından ortaya atılmıştır. İstatistiksel olarak rassallaştırma, belli bir kurala bağlı olmaksızın faktörlerin, deneyin adımları rastgele belirlenmesidir. Böylece hatanın en aza inmesi amaçlanır.

Tekrarlama: Deneyin rassal sıklıklar ile birden fazla kez yapılmasıdır. Deney birkaç kez yapılırsa hatayı azaltma ve faktörlerin yanıtı olan etkileri daha anlamlı değerlendirme fırsatı bulunur (Antony, 2003). Deneyde tekrar sayısı arttıkça maliyeti de artacaktır. Ancak

sonuçların anlamlılığı ve geçerliliği için tekrarlama yapılmalıdır. Deneyler farklı çevre şartlarından, yıldan yıla değişen şartlardan etkilenmektedir. O yüzden tekrarlarla aradaki farklar izlenir.

Bloklama: Deney tasarımı, deneyin homojen birimlere gruplandırılmasında bloklama kullanılır. Amacımız deney sonuçlarının geçerliliğinin artırılmasında hatayı en aza indirmek ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini azaltmaktır. Ayrıca faktörler ve faktörlerin seviyelerinin etkileri de bloklama yoluyla belirlenir (Antony, 2003).

2.3. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları

Deney tasarımının doğru ve etkili bir şekilde uygulanması için yapılması gereken adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Problemin Belirlenmesi: Problemin açık ve anlaşılır olarak belirlenmesi gerekir. Hedefe ulaşmada problemin doğru tespiti kritiktir. Böylece çalışma alanının daha iyi anlaşılmasına ve problemin çözümüne katkıda bulunur. Ayrıca problemler, bir proses veya ürünün iyileştirilmesi ya da yeni bir ürün geliştirilmesi için kullanılabilir olmalıdır. Ekonomik açıdan ürün maliyetlerinin iyileştirilmesini amaç edinmelidir (Karşlıoğlu, 2013).

Bağımlı Değişkenin Seçilmesi: Süreç hakkında gerçekten bilgi sağlayacağından emin olunan değişken seçilmelidir. Deneyler uygulanmadan önce, problem durumuna göre yanıt değişkeni seçilir ve nasıl ölçüleceği konusu belirlenir. Modele uygun bir dağılım olacak şekilde bağımlı değişken genellikle ölçülen karakteristiğin ortalaması veya standart sapması olmaktadır (Montgomery, 2017).

Faktör ve Seviyelerinin Seçilmesi: Deney tasarımının bir süreç olarak düşünüldüğünde, bu süreci etkileyen faktörler ve faktörlerin seviyelerini bağımlı değişkeni etkileyen faktörler olarak seçilmelidir.

Deneyin Tasarlanması: İlk aşamalardan sonra bloklama, tekrar sayısı, diğer rastgelelik kısıtları, teknikler, deney tasarımının hangi türü uygulanıp uygulanmayacağına karar verme işlemleri deney tasarımında yapılmalıdır. Tasarımın seçiminde, deneyin amaçlarının dikkate

alınması son derece önemlidir.

Deneylerin Yapılması: Deney tasarımına göre veriler toplanır. Plan dahilinde ilerlemek ve süreci izlemek, deneyde oluşabilecek hataları azaltarak deneyin doğruluğunu ve geçerliliğini artırır. Birkaç deneme yapılması önerilir. Bu denemeler, uygulamada deneysel tekniğin uygunluğu, ölçümde hata olup olmadığına göre yol gösterir. Veri toplama süreci olarak adlandırılabilen bu aşamada, rastgelelik, ölçümün doğruluğu ve sabit deney koşullarının sağlanmasına özen gösterilmelidir.

Verilerin İstatistiksel Analizi: Deneyin doğru tasarlanması, sonuçların ve bu sonuçların istatistiksel analizinin geçerliliğini artırır. Sonuçların analizinde kullanılabilecek çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. En kolay anlaşılabilir analizler genellikle grafiksel yöntemlerdir. İstatistiksel yöntemler ise çıktıların tarafsız olarak ele alınmasında kullanılır. Sürecin doğru bir şekilde yürütülmesinde istatistiksel araçlar daha verimli olur. Bu araçlar verilerin analizinde ve yorumlanmasında önemli rol oynar.

Sonuç ve Öneriler: Analiz sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmalı ve önerilerde bulunulmalıdır. Sonuçların yorumlanması aşamasında grafiksel yöntemler oldukça kullanışlıdır. Bu bulgular, yorumlar ve öneri başka bir çalışmanın konusu olabileceğinden sonuçların doğruluğunun güvenilirliğini sağlamak için deneme testi yapılmalıdır. Bu süreçte geçici olarak hipotezler kurulmalı ve hipotezleri incelemek üzere deneyler yapıp sonuçlara bakılmalıdır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak yeni hipotezler kurulup deney sürecinde sürdürülmelidir (Murat, 2013).

3. FAKTÖRİYEL TASARIMLAR

İki veya daha fazla faktörün süreç veya ürün nitelikleri üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılan deneysel tasarımlardır. Bu tasarımlarda, her bir faktörün her bir seviyesi, deneydeki diğer faktörlerin seviyeleriyle eş zamanlı olarak değiştirilir. Bir çok araştırmada, sonuç üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörler incelenir. Ancak bazı durumlarda, ilgilendiğimiz bir özelliğin çeşitli faktörler tarafından etkilendiği varsayılır ve her faktörün kendi etkisinin yanı sıra, diğer faktörlerle birlikte nasıl bir etki gösterdiği de araştırılmak istenir. Bu tür durumlarda, faktörlerin bireysel ve etkileşimli etkileri hakkında bilgi sahibi olunması hedeflenir. Genelde, sonuç üzerinde etkisi olduğu düşünülen faktörler incelenir (Hasgöl, 2011).

Faktöriyel tasarımlar, tüm araştırma alanlarında uygulanabilmektedir. Faktöriyel tasarımlarda faktörlerin farklı düzeyleri, incelenmektedir. Farklı faktörlerin bütün kombinasyonları alınarak deneyler oluşturulur. Faktöriyel tasarımda faktörler tasarıma dahil edilebilir ve faktöriyel tasarım faktörler etkilerinin birbirlerinden bağımsız olması durumunda zaman ve kaynak tüketiminin önüne geçer (Bayrak ve diğerleri, 2010).

Faktöriyel tasarımın olumsuz yönü faktör sayısındaki artışa bağlı olarak deneme sayısında görülen artıştır. Bu artış aynı zamanda kaynak ve zaman tüketimine neden olur.

Önemli bir diğer husus faktörlerin ve faktör düzeylerinin seçimidir. Denemeler faktör kombinasyonlarını içerir. Düzeylerin gösterimleri (a_0, a_1) , $(0,1)$, (düşük, yüksek) ya da $(-1,1)$ şeklinde olabilir.

Örneğin; Faktörler A ve B olup 4 ve 3 düzeyde alınırsa düzeyler, (a_1, a_2, a_3, a_4) ve (b_1, b_2, b_3) olarak gösterilsin. Burada $3 \times 4 = 12$ tane deneme aşağıdaki gibidir;

a_1b_1, a_1b_2, a_1b_3

a_2b_1, a_2b_2, a_2b_3

a_3b_1, a_3b_2, a_3b_3

a_4b_1, a_4b_2, a_4b_3

A, B ve C faktörleri 2, 3 ve 3 düzeye sahip olsun. Düzeyleri (a_1, a_2) ve (b_1, b_2, b_3) ve (c_1, c_2, c_3) sembolleriyle gösterilsin. Bu deneyde,

$a_1b_1c_1, a_1b_1c_2, a_1b_1c_3, a_1b_2c_1, a_1b_2c_2, a_1b_2c_3, a_1b_3c_1, a_1b_3c_2, a_1b_3c_3,$

$a_2b_1c_1, a_2b_1c_2, a_2b_1c_3, a_2b_2c_1, a_2b_2c_2, a_2b_2c_3, a_2b_3c_1, a_2b_3c_2, a_2b_3c_3,$

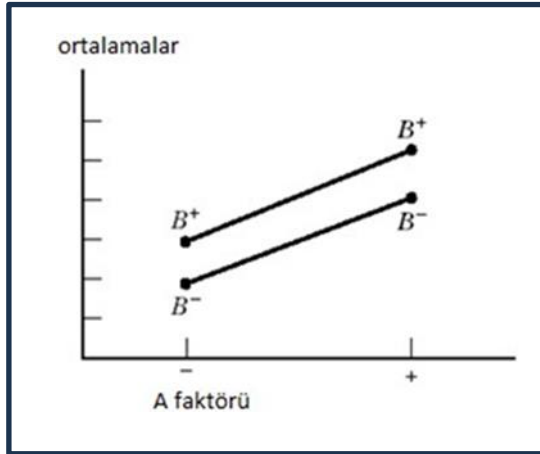
olup toplam $2 \times 3 \times 3 = 18$ tane deneme (işlem kombinasyonu) vardır.

3.1. Etkileşim Etkisi

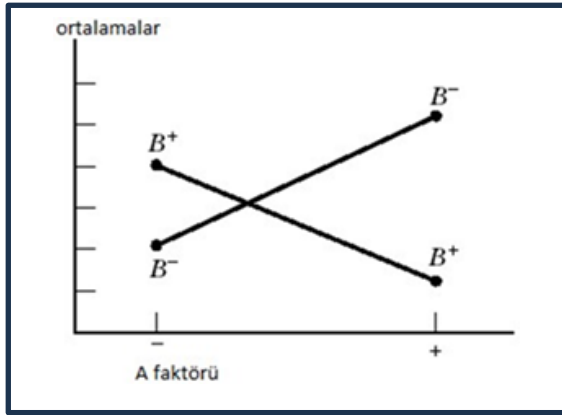
İki faktör arasında etkileşim sonuç üzerinde etkisi olan başka bir faktörün seviyesinden etkilenmesidir. Etkileşim için istatistiksel testler veya grafiksel yöntemler kullanılabilir.

Örnek:

Şekil 3.1’ de A ile B faktörlerinin iki düzeye sahip olduğu durumda AB etkileşim etkisi verilmiştir. Burada (-) düşük düzeyi, (+) ise yüksek düzeyi ifade etmektedir. Doğrular arasında görülen paralellik iki faktör arasındaki etkileşim etkisinin olmadığını gösterir.



Şekil 3.1. Faktörler arasında etkileşim olmadığı durum



Şekil 3.2. Faktörler arasında etkileşim olduğu durum

Şekil 3.2 ise doğrular arasında paralellik olmadığından A ve B faktörleri arasında etkileşim etkisinin olduğunu gösterir.

3.1.1. 2^k Faktöriyel Tasarım

2^k faktöriyel tasarımlar her bir faktörün bir yanıt üzerindeki etkilerini tüm olası kombinasyonlarla göstermeye izin veren bir tür tasarlanmış deneydir. Bir sonraki araştırmaya yön verecek şekilde bir ön çalışma niteliğinde kullanılabilir. Faktörler sabit olmalı (sabit etki modeli), tasarımlar rastgele seçilmeli ve normallik varsayımını sağlamalıdır (Karakoç, 2006).

A ve B faktörlerinin düzeyleri sırasıyla a ve b olsun. a x b faktöriyel tasarım için matematiksel modeli aşağıdadır:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau\gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.1)$$

Burada;

y_{ijk} : A faktörünün i-inci ve B faktörünün j-inci düzeyindeki k-ıncı gözlem değeri

μ : Genel ortalama

τ_i : A faktörünün i-inci düzeyinin etkisi

γ_j : B faktörünün j-inci düzeyinin etkisi

$\tau\gamma_{ij}$: A ve B faktörlerinin etkileşim etkisi

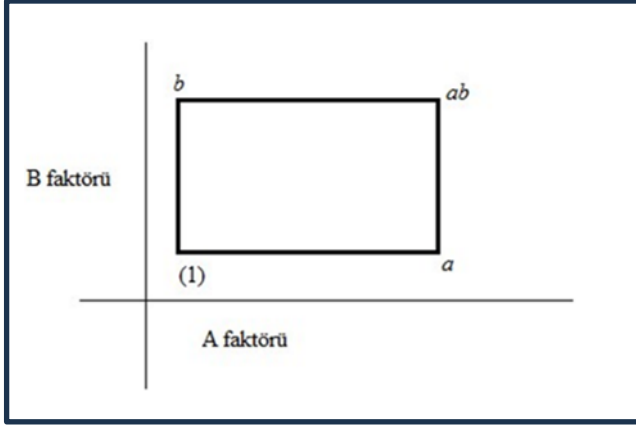
ε_{ijk} : Hata terimi

$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n$ göstermektedir.

2^k faktöriyel tasarımının kullanımının sağlayacağı kolaylıklar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Daha az deneyle sonuçları gözlemlenebilir.
- Kolay hesaplanır.
- Deneyler sırasında olabilecek deney hataları engellenebilir.
- Faktör farklılıklarının sonuç üzerindeki etkisi hakkında tahmin yapılabilir (Özensoy, 1982).

En basit deneme düzenine sahip olan faktör sayısı ve düzeyi 2 olan yani 2^2 'dir. Aşağıda verilen şekilde A ve B faktörleri ve iki düzeyi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 2^2 Faktöriyel tasarımda A ve B faktörlerinin etkileri

Burada;

- (1) : A ve B düşük düzeyde,
a : A yüksek ve B düşük düzeyde,
b : A düşük ve B yüksek düzeyde,
ab : A ve B yüksek düzeyde, olduğunu ifade eder.

Tasarım matrisi (model matrisi), bir veri setinin faktörlerinin (açıklayıcı değişkenlerinin) değerlerinden oluşan bir matristir. Belirli istatistiksel modellerde gösterge değişkenleri (1) ve (0) sembolleri ile gösterilebilir. Çizelge 3.1' de 2^2 tasarım matrisi verilmiştir.

Çizelge 3.1. 2^2 tasarım matrisi

İşlem	A	B	Değişken	A	B
1	-	-	(1)	0	0
2	+	-	a	1	0
3	-	+	b	0	1
4	+	+	ab	1	1

Çizelge 3.2. İki faktörlü tasarım için kombinasyonların toplam etkilerinin hesaplanması

Faktörler	Toplam Etki Denklemi
(1)	$1 + a + b + ab$
A	$a + ab - (1+b)$
B	$b + ab - (1+a)$
AB	$1 + ab - (a+b)$

Bir faktörün seviyesindeki değişiklik o faktörün etkisidir.

$$A = \frac{1}{2n} [ab - b + a + 1]$$

$$B = \frac{1}{2n} [ab + b - a - 1]$$

$$AB = \frac{1}{2n} [ab + 1 - a - b]$$

2^k tasarımı için üç faktör ve iki düzey düşünülürse, A, B ve C faktörler, her bir faktör için düşük ve yüksek seviyeleri olduğundan 2^3 faktöriyel tasarım yazılabilir. Bu tasarım aşağıdaki Şekil 3.4' de ki gösterilebilir ve 8 farklı yanıt değişkeni vardır (Montgomery, 2017).

Çizelge 3.4. Üç faktörlü tasarım için kombinasyonların toplam etkilerinin hesaplanması

Faktörler	Toplam Etki Denklemi
(1)	$1 + a + b + ab + c + ac + bc + abc$
A	$a + ab + ac + abc - (b + c + bc + 1)$
B	$b + ab + bc + abc - (a + c + ac + 1)$
AB	$ab + 1 + abc + c - (a + b + ac + bc)$
C	$c + ac + bc + abc - (1 + a + b + ab)$
AC	$ac + abc + b + 1 - (a + c + ab + bc)$
BC	$bc + abc + a + 1 - (b + c + ab + ac)$
ABC	$a + b + c + abc - (ab + ac + bc + 1)$

Çizelge 3.4’ de 2^3 tasarımında işlem kombinasyonlarının toplam etkilerini hesaplanmak için toplam etki denklemleri verilmiştir.

A, B ve C faktörlerinin, sırasıyla a, b ve c düzeyinin olduğu bir $a \times b \times c$ faktöriyel tasarım için matematiksel model;

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \tau \gamma_{ij} + \delta_k + \tau \delta_{ik} + \gamma \delta_{jk} + \tau \gamma \delta_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (3.3)$$

Burada: δ_k , C faktörünün k –ıncı düzeyinin etkisi, $\tau \gamma \delta_{ijk}$ ise A faktörünün i –inci, B faktörünün j –inci ve C faktörünün k –ıncı düzeyi arasındaki etkileşimi gösteren model parametresidir, diğer terimler, (3.1) modeline benzer olarak tanımlanır. $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, c$; $\ell = 1, 2, \dots, n$ göstermektedir.

3.2. 2^k Tasarımda Bloklama ve Etki Karışımı

Faktöriyel tasarımlar çoğu deney düzeni için uygundur. Özellikle işlem kombinasyonları az ise sıklıkla kullanılır. Ancak homojenliğin sağlanamadığı durumlarda aynı koşullar sağlanamadığı için deneye hata karışma olasılığı artabilir. Bu durumu önlemek için öngörülemeyen hataları azaltmak ve deneyin güvenilirliğini artırmak adına bloklama yapılabilir.

Etki karışımı tasarım tekniğidir. Blok büyüklüğünün bir tekrardaki işlem kombinasyonlarının sayısından az olduğu durumlarda bloklarda denemeyi düzenlemek için

kullanılır. Bu teknik, bloklarla veya fark edilemeyen etkiler hakkında bilgi sağlar. Her blok tüm işlemleri veya işlem kombinasyonlarını içermediği için bu tasarım eksik blok tasarımı olarak adlandırılır.

3.3. 3^k Faktöriyel Tasarımlar

k tane faktörün üçer tane düzeyinin olduğu faktöriyel tasarım 3^k faktöriyel tasarım diye adlandırılır. İkinci dereceden modellemelerde sıklıkla kullanılan CCD ve BBD tasarımlar oldukça etkilidir. 3^2 ya da 3^3 tasarımlar daha çok tercih edilmektedir.

Tam faktöriyel tasarımlar ortogonal (dengeli) oldukları için, bir faktörün etkisi, diğer tüm faktörlerin etkilerinden bağımsızdır.

2^k faktöriyel tasarımları, faktörlerin doğrusal etkilerini ve etkileşimlerini değerlendirmek için kullanılır. 3^k tasarımları ise faktörlerin doğrusal ve karesel (ikinci dereceden) etkileri ile etkileşimlerini değerlendirmek için kullanılır. 2^k tasarımı ile sadece faktörlerin etkilerini değil, aynı zamanda tüm etkileşimleri içeren bir meta-model kurmak da mümkündür (Balaban, 2019).

4. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ

Yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Methodology (RSM)), optimizasyon için en yaygın ve popüler yaklaşım olarak kabul edilmektedir. RSM teknikleri, 1950'lerde deney yöntemlerinin tasarımıyla ilişkili olarak tanıtılmıştır. Bu teknikler, deney kümelerinden türetilen basit ampirik modeller üzerine kuruludur. RSM'nin belirli koşullarda faydalı olduğu bilinmesine rağmen, kullanılan basit cebirsel modellerin ampirik, yerel ve durağan doğası nedeniyle bu yaklaşımın bazı önemli dezavantajları vardır (Banga ve diğerleri ,2003).

RSM, çeşitli alanlarda kullanılan bir tekniktir. Mühendislik, gıda, kimya, tarım ve uygulamalı bilimler alanında sıkça ve başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tercih edilme sebepleri arasında; optimizasyonunun kolay yapılabilmesi, minimum deneysel veriyle maksimum bilgi elde etme, etkin parametreleri aynı anda değiştirebilme, parametreler arasındaki etkileşimleri belirleyebilme ve önemsiz parametreleri eleme gibi özellikler yer almaktadır. Bu yöntem, ürün kalitesini artırmak, üretim süreçlerini optimize etmek veya belirli bir yanıtı maksimize veya minimize etmek için kullanılabilir (Turan ve Altundoğan, 2011).

Optimizasyon tekniğinin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Tekrarları önlemesiyle hızlı ve maliyet açısından uygundur.
- Faktörler arasında etkileşim ve faktörlerin yanıt üzerindeki etkileri eşzamanlı olarak tahmin edilebildiği için etkili bir istatistiksel tekniktir.
- Doğrudan soruları yanıtlamak için bir veri tabanı sağlar.

Çalışmanın planlama aşamasında dikkatli olunmadığı takdirde optimizasyon yöntemlerinin kullanımında bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır:

- Yanlış istatistiksel model ve deneysel tasarım kullanımı
- Yanıt fonksiyonunun yanıt yüzeyinde birden fazla optimum noktaya sahip olduğunun farkına varılamaması.
- Uygun kontrol noktaları olmaksızın yanıt yüzeyi haritalarının aşırı kullanımı.

- Seçilen optimum formüllerin doğruluğunun bir kontrol veya standart formüle göre doğrulanamaması.
- Yanıtı etkileyen önemli faktörler/değişkenler doğru bir şekilde tanımlanmaması.
- Araştırmacı her bir bileşenin işlevini bilmeli veya bunların yanıt üzerindeki etkileri hakkında bazı teorilere sahip olmalıdır.

RSM genellikle deneyler arası etkileşimleri anlamak ve optimize edilmiş bir yanıt elde etmek için kullanılır. RSM' de gerçek regresyon modeline en yakın olan yaklaşık regresyon modelinin oluşturulması amaçlanır. Uygulamada genellikle gerçek regresyon modeli bilinmez. Oluşturulacak olan model gözlem değerlerine dayalı olarak oluşturulur ve bu model ampirik bir modeldir. Birçok uygulamada, faktörlerin belirli değerlerinin seçilmesiyle elde edilen yanıtların matematiksel bir modeli oluşturulur. Bu model, faktörlerin yanıt üzerindeki etkilerini ve faktörler arasındaki etkileşimleri ifade eder.

RSM, deneysel tasarımın bir parçası olarak kullanılabilir ve farklı faktör seviyelerinin deneylerde nasıl temsil edileceğini belirlemek için faydalı olur. Bu yöntem, deneylerin sayısını azaltarak ve verimliliği artırarak deneysel çalışmaların maliyetini azaltabilir.

Temelde deneylerle elde edilmiş verilere uydurulan polinomlar yardımıyla optimizasyon (en üst düzeye çıkarmak, en aza indirmek veya belirli bir hedefe ulaşmak) yapabilmeyi sağlar. Yani matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir arada kullanıldığı bir optimizasyon problemidir. İşlemi etkileyen parametrelere bağımsız değişkenler, yanıtlara bağımlı değişkenler denir. Yanıt fonksiyonu, iki faktör varsa bir yüzey veya ikiden fazla faktör varsa hiper yüzey oluşturur.

RSM gibi istatistiksel yaklaşımlar, operasyonel faktörlerin optimizasyonu ile özel bir maddenin üretimini en üst düzeye çıkarmak için kullanılabilir. Geleneksel yöntemlerin aksine, süreç değişkenleri arasındaki etkileşim istatistiksel tekniklerle belirlenebilir.

RSM' de çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılması gerekmektedir. Basit ampirik modeller, örneğin düşük dereceli polinomlar, yanıt değişkeni ile bir dizi girdi değişkeni arasındaki ilişkiyi mevcut ilgi bölgesi üzerinde belirlemek için kullanır.

Faktörler ve yanıtlar arasında kurulan matematiksel model ile ortaya konan ilişki veriler vasıtasıyla oluşturulur. Faktörler için optimum seviyenin belirlenmesinde contour grafiklerinden yararlanılır. Optimizasyon hedef fonksiyonu ile tanımlanan bir yüzeyde küresel optimum noktasını (minimum ya da maksimum) aramak için gerçekleştirilir.

Yanıt yüzeyi deneysel tasarımlarının belirli özelliklere sahip olması arzu edilir. Bu özellikler arasında döndürülebilirlik ve ortogonallik özellikle dikkat çekici ve önemlidir. Döndürülebilir tasarımlar, tasarım merkezinden eşit uzaklıkta olan tüm noktalarda sabit bir tahmin varyansı sağlar. Ortogonallik, model katsayılarının minimum varyans tahminlerini sağlayarak bunların birbiriyle ilişkili olmamalarını temin eder.

Yanıt yüzey yönteminin sunduğu avantajlar aşağıda belirtilmiştir.

- Bağımsız değişkenler olan faktörler arasındaki etkileşim belirlenebilir.
- Sistem matematiksel olarak modellenenebilir.
- Deneme sayısının azaltılmasıyla zamandan ve maliyetten tasarruf edilir.
- Faktörlerin etkilerini ve etkileşimlerini bir veya daha fazla yanıt değişkeni üzerinde değerlendirmeye izin verdiği için yararlı bir yöntemdir.

Yanıt yüzeyi yönteminin en önemli dezavantajı ise deneysel veriler ikinci düzeyde bir polinom modeli ile ifade edilmektedir. Eğriliği olan tüm sistemlerin ikinci dereceden bir polinom modelle uyumlu olduğunu söylemek doğru değildir. Ayrıca modeldeki tahmini değerlerin deneysel doğrulaması mutlaka yapılmalıdır.

Yanıt Yüzey Yönteminde Kullanılan Adımlar:

- İlk olarak deneyin tasarlanması
- Uygun model tespiti ve modelin oluşturulması
- Amaca uygun optimum deney parametrelerinin belirlenmesi
- Yanıt ve Contour grafiklerinin çizimi

(Özonur ve diğerleri, 2019).

Genellikle yanıt yüzey problemlerinde, yanıtlar;

- En büyük en iyidir: Amaç maksimum yanıt değişkenine ulaşmaktır.
- En küçük en iyidir: Amaç minimum yanıt değişkenine ulaşmaktır.
- Hedef en iyidir: Yanıt değişkenini hedef değer yapan kontrol değişkenlerinin düzeylerini veren değeri bulmaktır.

şeklindedir.

Bu çalışmada en küçük en iyidir yöntemi kullanılmıştır. Çünkü amaç fitik asiti minimum yapan değere ulaşmaktır.

4.1. Yanıt Yüzey Yönteminin Tarihçesi

Box ve Wilson tarafından 1951 yılında tanıtılan RSM' nin ana fikri, hedef yanıtı elde eden optimum faktör seviyelerini bulmaktır. Bunun için Box ve Wilson, ikinci derece bir polinom modeli kullanmayı önermiştir. Bu modelin gerçek yanıt fonksiyonuna bir yaklaşım olduğu kabul edilir, ancak süreç hakkında edinilen bilgi az olsa bile, böyle bir modelin tahmin edilmesi ve uygulanması kolay olduğu için kullanılır. Daha ileriki yıllarda ziraat, tıbbi ve süreç dışı kalite kontrolü ile ilgili çalışmalarda kullanılmıştır.

1980'li yılların sonlarında RSM' de ciddi gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeler, standart tasarımların ve tasarım parametrelerinin seçimi, tasarım kriterlerinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi, pratik tasarım optimalitesi veya bilgisayar destekli tasarımlar ve tasarım dayanıklılığı olarak kategorize edilebilir (Myers ve diğerleri, 2004).

4.2. Yanıt Yüzey Yönteminde Modelin Oluşturulması

RSM' de, modeli oluşturmak için çoklu regresyon analizi kullanılır. Bir faktörün ana etkisinin veya etkileşim etkisinin yanıt değişkeni üzerindeki önemine regresyon katsayıları yardımıyla karar verilir. Yanıt yüzey yönteminde amaç, yanıt değişkeni üzerinde etkili olan faktörleri ve bu faktörlerin düzeylerini belirlemektir.

Y yanıt değişkeni üzerinde etkisi olduğu düşünülen k tane regresyon tahmincisini içeren çoklu regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (4.1)$$

Birinci dereceden yanıt yüzey modeli 2 bağımsız değişken olduğunda aşağıda gösterilmiştir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (4.2)$$

Burada;

Y : Yanıt Değişkeni (Bağımlı Değişken)

X_i : Bağımsız Değişkenler

β_0 : Regresyon Denklem Sabiti

β_1, β_2 : Kısmi Regresyon Katsayıları

ε : Hata Terimi

şeklinde ifade edilir.

RSM için istenilen özellikler aşağıda verilmiştir.

- Bilginin deney bölgesi boyunca uygun dağılımı gerekir. (Döndürebilirlik)
- Artıkları veya tahmin hatasını en az,
- Uyum tespiti eksikliği,
- Dönüşümler tahmin edilebilir,
- Minimum işlem kombinasyonu sayısı,
- İyi grafik analizi,
- Giriş değişkenlerinin ayarlarında hatalar oluştuğunda düzeltilebilir ,

olmalıdır.

Artıklar, gözlemlenen bir değer ile buna karşılık gelen değer arasındaki farktır. Artık, bir modelin gözlemlenen verilerdeki değişimi ne kadar açıkladığını da belirleyebilir.

Polinom modelleri genellikle yanıt yüzeyinin küçük bir bölgesinde yeterli bir yaklaşım sağlar. Bu nedenle, bilinmeyen fonksiyon f^* in yaklaşımına bağlı olarak ya birinci dereceden ya da ikinci dereceden modeller kullanılır. Yanıt bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olduğunda, yaklaşık fonksiyon f birinci dereceden bir modeldir.

5. BİRİNCİ DERECE DEN MODELLER

Deneysel tasarımda (DoE), deneme modeli, deneyin amacı ile tutarlı olmalı ve bu amaca uygun olarak deneysel tasarım ve veri toplama metodolojisi önceden belirlenmiş olmalıdır. Model oluşturma sürecinin temel adımları model seçimi, model uyumu ve model geçerliliğidir. Bu üç temel adım, veriler için uygun bir model geliştirilene kadar tekrarlanarak kullanılır. Model seçimi aşamasında, verilerin grafikleri, süreç bilgisi ve süreç hakkındaki varsayımlar, verilere uygun modelin şeklini belirlemek için kullanılır. Daha sonra, seçilen model ve veriler hakkındaki bilgilerle, modeldeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için uygun bir model uydurma yöntemi kullanılır. Parametre tahminleri yapıldığında, analizin varsayımlarının makul olup olmadığını değerlendirmek için model dikkatlice incelenir. Varsayımlar geçerli görünüyorsa, model, modelleme çabasını başlatan bilimsel veya mühendislik sorularını yanıtlamak için kullanılabilir. Ancak, model doğrulama aşamasında mevcut modelde sorunlar belirlenirse, modelleme süreci iyileştirilmiş bir model seçmek veya uyarlamak için model doğrulama adımından gelen bilgiler kullanılarak tekrarlanır. Bir veri setine uyacak doğru bir model seçmek genellikle verilerde deneysel kanıtların kullanılmasını, süreç bilgisini ve bazı deneme-yanılma deneylerini gerektirir.

Çoğu zaman kullanılan fonksiyonun yapısı hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, fonksiyon için varsayılan modelde hatalar olabilir.

$$\begin{aligned} Y_{ij} &= \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_q X_{qi} + \varepsilon_{ij} \\ &= \beta_0 + X_i \beta + \varepsilon_{ij} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Çoklu regresyon modeli göz önüne alınsın.

Burada,

$X_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{qi})$ ve $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q)'$ dir.

(X) tasarım değişkenleri ve β regresyon katsayıları ile gösterilmiştir.

5.1. Birinci Dereceden Tasarımlar

Birinci dereceden modelin verilerin gerçek yapısına uygun olup olmadığını belirlemede kullanılan araçlardan birisi hata ve uyum eksikliğidir. Uyum eksikliği (Lock of fit); modelin gerçek veri üzerindeki uygunluğunu ölçer. Modelin tahmin ettiği değerlerle gerçek değerler arasındaki sistematik farkları gösterir. Uyum eksikliği anlamlı ise (α düzeyinde) bir veya daha fazla etkinin doğrusal olmadığı ancak bir çeşit eğrilik olduğu düşünülebilir. Yanıt yüzeyinde bir eğrilik olduğunda, birinci dereceden model yetersiz kalır. Bu nedenle ikinci dereceden model, eğrilığe sahip gerçek yanıt yüzeyinin bir kısmını yaklaşık olarak tanımlamak için faydalı olur (Tekindal, 2009).

Modelin parametresi, hata ve uyum eksikliği tahmin edilebilirse ve tasarımın hem tahmin yeteneği hem de kaynak kullanımı bakımından verimli olması durumunda yanıt yüzey tasarımından bahsedilebilir. Yanıt yüzeyi tasarımları genellikle kodlanmış değişkenler cinsinden ifade edilir. Tasarım değişkenlerinin yeniden ölçeklenmesi kodlama olarak düşünülebilir (Kılıç ve Bayrak, 2018).

6. İKİNCİ DERECE DEN MODELLER

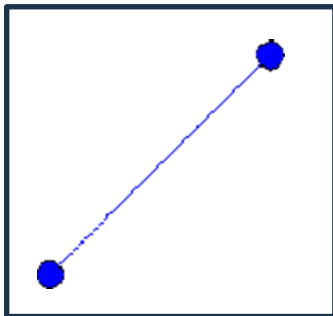
İkinci dereceden modeller, birinci dereceden modelde bulunan tüm terimleri, tüm karesel terimleri ve etkileşim terimlerini bulundurur. Yanıt yüzeyi modelleri yalnızca ana etkileri ve etkileşimleri içerebilir veya eğriliği hesaba katmak için ikinci dereceden ve muhtemelen kübik terimlere de sahip olabilir. Eğrilik olduğu durumlarda yanıt yüzeyinde ikinci dereceden modeller kullanılır.

6.1. İkinci Dereceden Tasarımlar

İkinci dereceden tasarımlar arasında en popülerlerden biri olan CCD faktöriyel, eksenel ve merkez noktalardan oluşur. Merkez noktanın temel amacı varsayılan modelin gözlemlenen verilere uyum eksikliğini tahmin eder. Ayrıca modelin uyumsuzluğunu test etmek ve saf hata tahmini yapmak için eklenir. BBD' da ikinci dereceden bir tasarımdır. CCD' lerin popüler olmasının sebeplerinden biri, 2^k faktöriyel tasarımın eksenel ve merkez noktalarla genişletilmesiyle ikinci dereceden bir tasarıma dönüşmesidir. (Kılıç ve Bayrak, 2018).

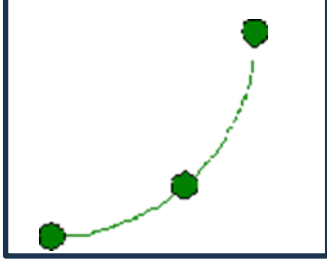
6.2. Yüksek Dereceli Tasarımlar İçin Faktör Düzeyleri

Faktör ayarlarının fonksiyonları olarak yanıtların muhtemel sonuçlarını göstermektedir. Her durumda, yanıt değerinin şeklin altından üstüne doğru arttığını ve faktör ayarlarının soldan sağa doğru arttığı varsayılın.



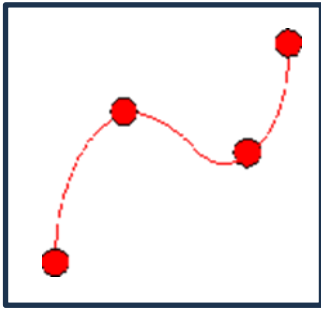
Şekil 6.1. Doğrusal fonksiyon

Bir yanıt Şekil 6.1.' deki gibi davranıyorsa, bu davranışı ölçmek için tasarım matrisinin yalnızca düşük ve yüksek olmak üzere iki seviyeli faktörleri içermesi gerekir. Bu model, basit iki seviyeli faktöriyel ve kesirli faktöriyel tasarımların temel bir varsayımıdır (Özdemir, 2018).



Şekil 6.2. İkinci dereceden fonksiyon

Bir yanıt Şekil 6.2.' deki gibi davranıyorsa, bir faktörün bu davranışı ölçmesi için gereken minimum düzey sayısı üçtür. İki seviyeli bir tasarıma merkez noktaları eklemenin bu gereksinimi karşılayacağı mantıksal olarak varsayılabilir, ancak işlemlerin böyle bir matriste düzenlenmesi tüm ikinci dereceden etkileri birbirleriyle karıştırır. Merkez noktaları olan iki seviyeli bir tasarım, ikinci dereceden etkileri tahmin edemezken, onları etkili bir şekilde algılayabilir.



Şekil 6.3. Kübik fonksiyon

Son olarak, Şekil 6.3.' te gösterildiği gibi daha karmaşık durumlarda, yanıtın davranışını yeterince karakterize etmek için tasarım matrisi her bir faktörün en az dört seviyesini içermelidir ($Url - 2$).

6.3. Box Behnken Tasarımlar (BBD)

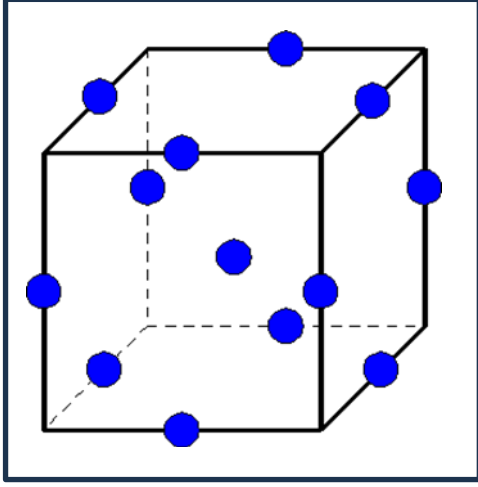
BBD, Box ve Behnken tarafından, 1980 yılında geliştirilmiştir. BBD, tüm olası faktör düzeyleri kombinasyonlarının eşit sayıda tekrarından oluşmaktadır. Bu durumda yanıt değişkeni üzerindeki etkilerinin daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi sağlanır. Bağımsız ikinci dereceden tasarımıdır ve ikinci dereceden yanıt yüzeyi modelleri geliştirmek için yararlı bir yöntemdir. Bu tasarımda işlem kombinasyonları, işlem alanının kenarlarının orta noktalarında ve merkez noktasındadır. Bir tasarımdaki merkez noktası, düşük ve yüksek seviyelerin ortasında yer alır. Merkez noktasının temel amacı, varsayılan modelin gözlemlenen verilere uyum eksikliğini tahmin etmektir. BBD tasarımlarında köşe noktalar bulunmamaktadır; bu nedenle, CCD üzerinde aksel noktalarda çalışma bölgesinin dışına çıkma riski azalır. Bu durum, CCD'ye kıyasla uç noktaların önemsiz olduğu durumlarda avantaja sahip olmalarını sağlar. Bu tasarımlar döndürülebilir (veya döndürülebilire yakın) ve her faktör için 3 seviye gerektirir (Li ve diğerleri, 2011).

BBD, incelenecek her faktörün en az üç sürekli seviyesini gerektirir. Bu tasarımın bir dezavantajı, çok sayıda faktörle sonuçlanan çok sayıda tasarım noktasıdır, bu nedenle ürün formülasyonuna uygulama üç veya dört faktörle sınırlı görünmektedir.

BBD genellikle daha az tasarım noktasına sahip olduğundan, aynı sayıda faktöre sahip CCD daha uygun olabilir. CCD genellikle aksel noktalara sahiptir. Bu noktalar, ilgi alanınızın dışında olabilir veya güvenli çalışma sınırlarının ötesinde oldukları için gerçekleştirilmeleri imkansız olabilir. BBD aksel noktalar bulunmaz, bu nedenle tüm tasarım noktalarının güvenli çalışma bölgesine girdiğinden emin olunabilir. BBD' de tasarım noktaları yüksek ve düşük faktör düzeylerinin kombinasyonları ile bu düzeylerin orta noktasında yer alır. Ayrıca BBD tüm faktörlerin aynı anda yüksek seviyelere ayarlanmasını engeller. BBD, genellikle daha küçük bir tasarım noktası sayısına sahip olduğundan 1. ve 2. derece katsayılarının verimli bir şekilde tahmin edilmesini sağlar. Bu nedenle daha az zaman alıcı ve daha ekonomik olabilir.

BBD, 3^k faktöriyel tasarımdan faktöriyel kombinasyonların belirli bir alt kümesini içerir. Bu tasarımlar, 2^k faktöriyel tamamlanmamış blok tasarımlarıyla birleştirilmesiyle oluşturulur.

Üç faktör için BBD Şekil 6.4.'de verilmiştir.



Şekil 6.4. Üç faktör için BBD

Bu tasarımın geometrisi, süreç uzayı içinde bir küre önerir, öyle ki kürenin yüzeyi, uzayın her bir kenarının orta noktasına teğet geçecek şekilde her bir yüz boyunca çıkıntı yapar.

BBD, CCD' den farklı olarak en az üç faktör gerektirir ve faktörlerin her biri nicel ve üç seviyeli olmalıdır. Faktör sayısının eşit olduğu göz önüne alındığında CCD' ye kıyasla daha az tasarım noktasına sahiptir. Bu sebeple CCD' ye göre ekonomik bir tasarım olup CCD' ye kıyasla uç nokta içermez (Url - 3).

İki faktörlü BBD mevcut değildir. BBD, CCD' deki köşe noktalarının çok uç değere sahip olmasından kaçınmak için kullanılır.

7. UYGULAMA

Deney tasarımı, birçok alanda bilimsel araştırmaların temelini oluşturan önemli bir süreçtir. Ancak, deneylerin planlanması ve uygulanması sıklıkla maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Araştırmayı yapan kişinin ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için; geliştirilmekte olan tasarımın sınırlarını belirlemek, değişkenlerin yanıt üzerindeki etkilerini bulmak ve en iyi çözümü bulmak oldukça önemlidir. Yanıt yüzey yöntemi, bu zorlukları aşmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, deney sayısını minimize ederek, istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmeyi hedefler. Tüm deneme düzenlemelerinde temel amaç, üzerinde durulan yanıt değişkenine etkisi olabilecek faktörlerin dikkate alınması ve deneme hatasının en aza indirilmesidir.

RSM, bir yanıtın birçok değişkenden etkilendiği ve analiz amacının yanıtları optimize etmek olduğu problemleri modelleme ve analiz etmede kullanılan bir dizi matematiksel ve istatistiksel tekniktir.

Yanıt yüzey yöntemi, süreç değişkenleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan modelleme tekniklerini ve yanıt için istenilen hedefi gerçekleştirmek amacıyla faktörlere ilişkin seviyelerin bulunması için kullanılan optimizasyon tekniklerini içermektedir. Optimizasyon, ürün kalitesi ve sürecin verimi için önemlidir.

Yanıt yüzeyi analizi için;

1. İstatistiksel olarak tasarlanmış deneyin gerçekleştirilmesi
2. Yanıt yüzey denklemlerinin katsayılarının tahmin edilmesi
3. Denklemlerin yeterliliğinin kontrol edilmesi
4. İlgili bölgedeki yanıt yüzeyinin incelenmesi adımları gerçekleştirilmelidir.

Bu adımlar önemlidir. Çünkü;

1. Optimum bölgenin yeri neresidir?
2. Hangi tür model kullanılacaktır?
3. Deney tasarımının uygun seçimi nedir?
4. Yanıtlar ve değişkenler üzerinde dönüşüm gerekli midir?

gibi soruları yanıtlamada yardımcı olacaktır (Myers ve Montgomery, 2002).

İstatistiksel ve matematiksel tekniklerin yanı sıra yanıt yüzeyinin gösterimi de sorunlara yanıt bulmada yardımcı olacaktır. Birçok yanıt yüzeyi tasarımı mevcuttur. Ancak bu tezde yalnızca verilere uygun olanı kullanılacaktır.

Kullanılan veri seti 3 faktör ve bu faktörlerin 3 düzeyi Çizelge 7.1.'de verilmiştir.

7.1. Yulaf Ekmeğinde Bulunan Fitik Asit Miktarını Minimum Yapmak İçin Box Behnken Tasarımının Kullanımı

Bu çalışmada, yulaf ekmeği üretim sürecinde uygulanan işlemlerin fitik asit miktarına olan etkileri incelenmiştir. İkinci derece yanıt yüzey modeli kullanılarak yapılan analizlerde, 3^3 BBD kullanılmıştır. Deneme düzeni tek tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yulaf kepeğine çeşitli oranlarda maya eklenerek farklı fermantasyon süreleri uygulanarak yulaf ekmekleri üretilmiştir. BBD, Minitab 21 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.1' de 3^3 bir faktöriyel tasarım yapısı ele alınmıştır. Veri setinde yulaf kepeği katma oranı, maya miktarı ve fermantasyon süresi olarak 3 faktör ve bu faktörlerin 3 düzeyi vardır.

Çizelge 7.1. Yulaf kepeğine farklı maya miktarları ve fermentasyon süreleri uygulanarak yapılan yulaf ekmeklerinin fitik asit miktarları

Yulaf kepeği katma oranı (%)	Maya miktarı (%)	Fermentasyon müresi (dak.)	Fitik Asit miktarı (mg/100 g)
0	2	60	130,4
0	2	80	119,3
0	2	100	111,3
0	4	60	115,9
0	4	80	107,9
0	4	100	96,1
0	6	60	107,6
0	6	80	96,6
0	6	100	86,3
10	2	60	240,6
10	2	80	231,2
10	2	100	221,1
10	4	60	229,2
10	4	80	219
10	4	100	211,3
10	6	60	218,6
10	6	80	207,7
10	6	100	198,2
20	2	60	330,2
20	2	80	315,9
20	2	100	309,3
20	4	60	307,7
20	4	80	296,7
20	4	100	283,7
20	6	60	290,03
20	6	80	280,5
20	6	100	271,2

Bu süreç için BBD' nin uygun olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 7.2. Faktörlerin kodlanması

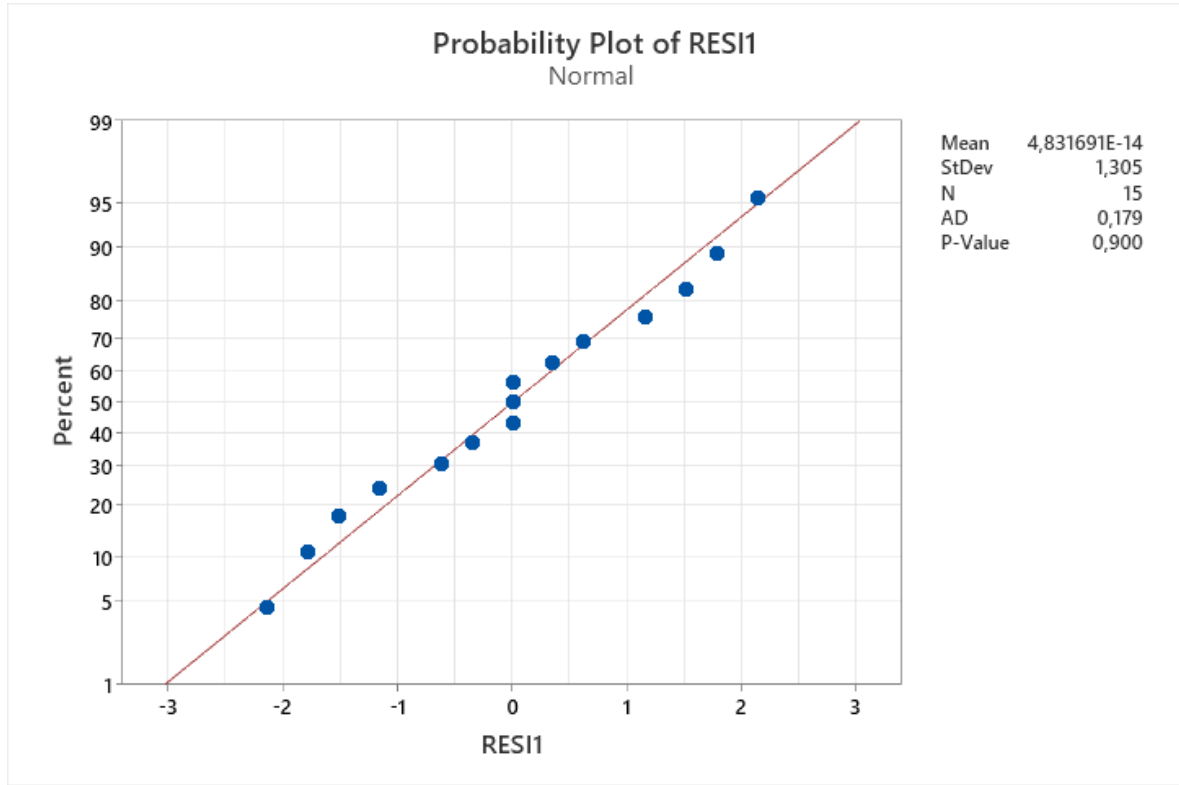
Deneme Sayısı	Blok	Yulaf Kepeği Katma Oranı	Maya Miktarı	Fermantasyon Süresi
1	1	-1	0	-1
2	1	0	0	0
3	1	1	0	1
4	1	1	1	0
5	1	0	0	0
6	1	0	-1	-1
7	1	0	1	1
8	1	-1	0	1
9	1	-1	-1	0
10	1	0	-1	1
11	1	1	-1	0
12	1	1	0	-1
13	1	-1	1	0
14	1	0	1	-1
15	1	0	0	0

Çizelge 7.2’ de 15 deneme, tek blok, tek tekrarlı, rasgele kodlanmış bir Box Behnken tasarımı görülmektedir. Bir BBD için, bir tasarıma blok eklemenin yollarının sayısı, faktör sayısına bağlıdır. Üç faktör bloklara sahip olamaz (Url - 4).

BBD için gereken deney sayısını (N) verir,

$$N = 2k(k-1) + C_p$$

burada k faktör sayısı ve C_p merkezi noktanın tekrar sayısıdır (Url - 5).



Şekil 7.1. Artıkların normal olasılık grafiği

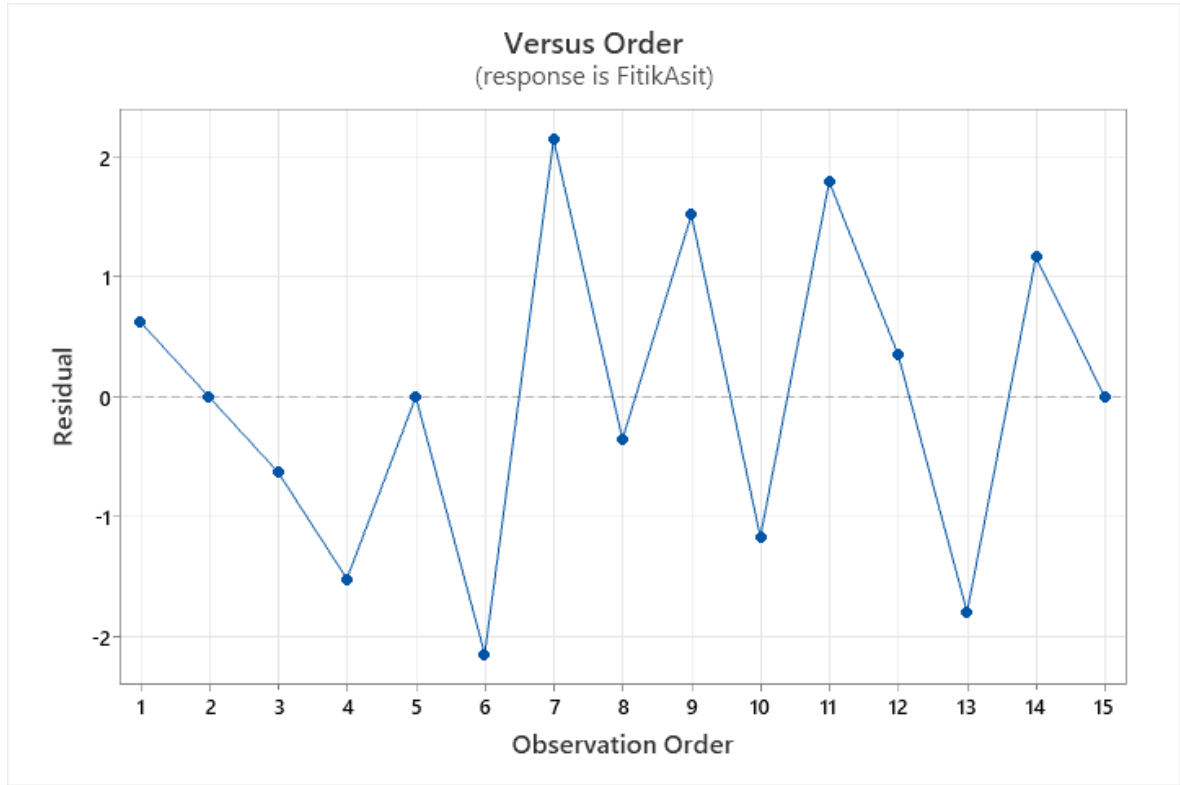
Şekil 7.1 analizi doğru bir şekilde gerçekleştirmek için kontrol edilmesi gereken varsayımlardan biri olan normallik varsayımına ilişkin artıkların normal olasılık grafiğini göstermektedir. Normallik varsayımı Anderson Darling testi kullanılarak kontrol edilmiştir. Anderson Darling testi için oluşturulan hipotezler;

H_0 : Artıklar normal dağılıma uygundur.

H_1 : Artıklar normal dağılıma uygun değildir.

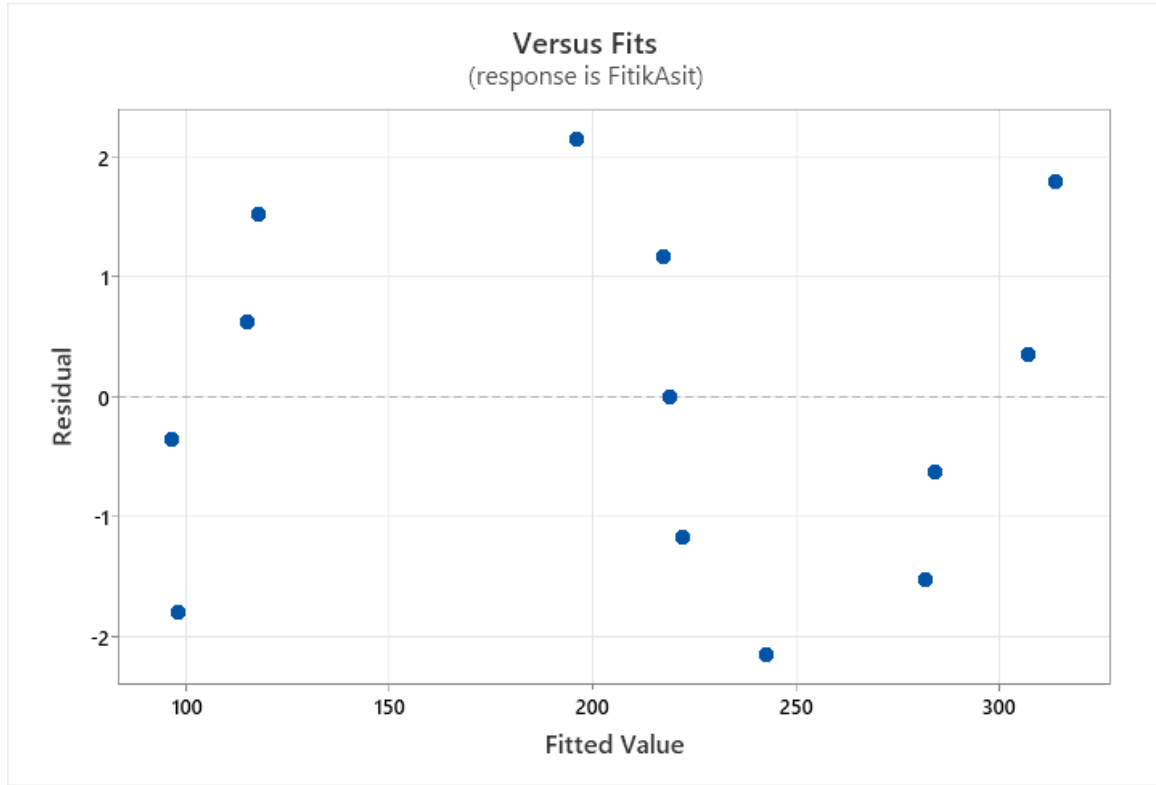
şeklindedir.

Anderson Darling p değeri (0,900) α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Böylelikle artıklar için normallik varsayımının sağlandığı görülmektedir.



Şekil 7.2. Artıkların sınır grafiği

Şekil 7.2’ te artıkların veri seti içindeki sınırları görülmektedir. İdeal olan artıkların merkez çizgi etrafında rastgele düşmesidir. Dolayısıyla artıkların birbirinden bağımsız varsayımı sağlanmıştır.



Şekil 7.3. Artıklara göre uyum grafiği

Şekil 7.3’ de artıklara göre uyum grafiği görülmektedir. İdeal olan artıkların merkez çizgi etrafında rastgele düşmesidir. Dolayısıyla artıkların sabit varyans varsayımı sağlanmıştır.

Çizelge 7.3.’ de model özeti verilmiştir.

Çizelge 7.3. Model özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,18323	99,97%	99,91%	99,50%

S: S, veri değerleri ile uydurulan değerler arasındaki mesafenin standart sapmasını temsil eder. S, yanıt birimlerinde ölçülür. Modelin yanıtı ne kadar iyi tanımladığını değerlendirmek için S kullanılır. S, yanıt değişkeninin birimlerinde ölçülür ve veri değerlerinin uydurulan değerlerden ne kadar uzak olduğunu gösterir. S değeri ne kadar düşükse, model yanıtı o kadar iyi tanımlar. Ancak, tek başına düşük bir S değeri, modelin varsayımlarını karşıladığını göstermez. Varsayımları doğrulamak için artık grafikleri kontrol edilmelidir. S değerinin küçük olması modelin yukarıdaki tanımlamaya uygun olduğunu gösterir.

R-sq: R^2 , model tarafından açıklanan yanıtta varyasyon yüzdesidir. Modelin verilere ne kadar uyduğunu belirlemek için R^2 'yi kullanılır. R^2 değeri ne kadar yüksek olursa, model veriye o kadar iyi uyar. R^2 her zaman %0 ile %100 arasındadır. Modeldeki R-sq değeri 99,97% olduğundan model veriye uymaktadır.

R-sq(adj): Farklı sayıda tahmin ediciye sahip modelleri karşılaştırmak istediğinizde düzeltilmiş R^2 kullanılır. Bir tahmin edicinin modele gerçek bir etkisi(katkısı) olmasa bile, eklediğinizde R^2 her zaman artar. Düzeltilmiş R^2 değeri, doğru modeli seçmenize yardımcı olmak için modeldeki tahmin edicilerin sayısını içerir. R-sq(adj) 99,91% olduğundan model veri setini iyi bir şekilde tanımlar yorumu yapılır.

R-sq(Pred): Modeldeki yeni gözlemler için yanıtı ne kadar iyi tahmin ettiğini belirlemek için tahmin edilen R^2 'yi kullanılır. Daha büyük tahmin edilen R^2 değerlerine sahip modeller daha iyi tahmin yeteneğine sahiptir. Tahmin edilen R^2 'nin değeri %0 ile %100 arasında değişir.

Çizelge 7.4. 3³ Faktöriyel tasarımında varyans analizi tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
Model	9	75568	8396,4	1761,55	0,000
Doğrusal	3	74382,8	24794,3	5201,78	0,000
Yulaf	1	72181	72181	15143,4	0,000
Maya	1	1326,1	1326,1	278,22	0,000
Fermantasyon	1	875,7	875,7	183,72	0,000
Karesel	3	1140,2	380,1	79,74	0,000
Yulaf*Yulaf	1	1111,5	1111,5	233,18	0,000
Maya*Maya	1	7,5	7,5	1,57	0,265
Fermantasyon*Fermantasyon	1	2,4	2,4	0,50	0,513
Etkileşim	3	44,9	15,0	3,14	0,125
Yulaf*Maya	1	40,3	40,3	8,46	0,033
Yulaf*Fermantasyon	1	4,4	4,4	0,93	0,380
Maya*Fermantasyon	1	0,2	0,2	0,04	0,845
Hata	5	23,8	4,8		
Lack-of-Fit	3	23,8	7,9	*	*
Pure Error	2	0,0	0,0		
Toplam	14				

Lack of fit, bir regresyon modeli, deneysel faktörler ile yanıt değişkeni arasındaki işlevsel ilişkiyi yeterince açıklayamadığında uyumsuzluk gösterir. Etkileşimler veya ikinci dereceden terimler gibi modelden önemli terimler dahil edilmezse uyumsuzluk meydana gelebilir. Ayrıca, modelin takılmasından dolayı alışılmadık derecede büyük artıklar ortaya

çıkarsa da bu durum ortaya çıkabilir.

Aşağıdaki durumlarda, test istatistiği hesaplanamadığı için Uyum Eksikliği raporu görünmez (Url - 6):

- X değişkenlerine göre çoğaltılmış nokta yoktur, bu nedenle karelerin saf hata toplamını hesaplamak imkansızdır.
- Model doygundur, yani gözlem sayısı kadar tahmini parametre vardır. Böyle bir model mükemmel bir şekilde uyuyor, bu yüzden uyum eksikliğini değerlendirmek imkansızdır.

Serbestlik derecesi, verideki bilgi miktarıdır. Bilinmeyen parametrelerinin değerlerini tahmin etmek için kullanılır. Örnekteki gözlem sayısına göre belirlenir. Bir terim için, O terimin ne kadar bilgi kullandığını gösterir.

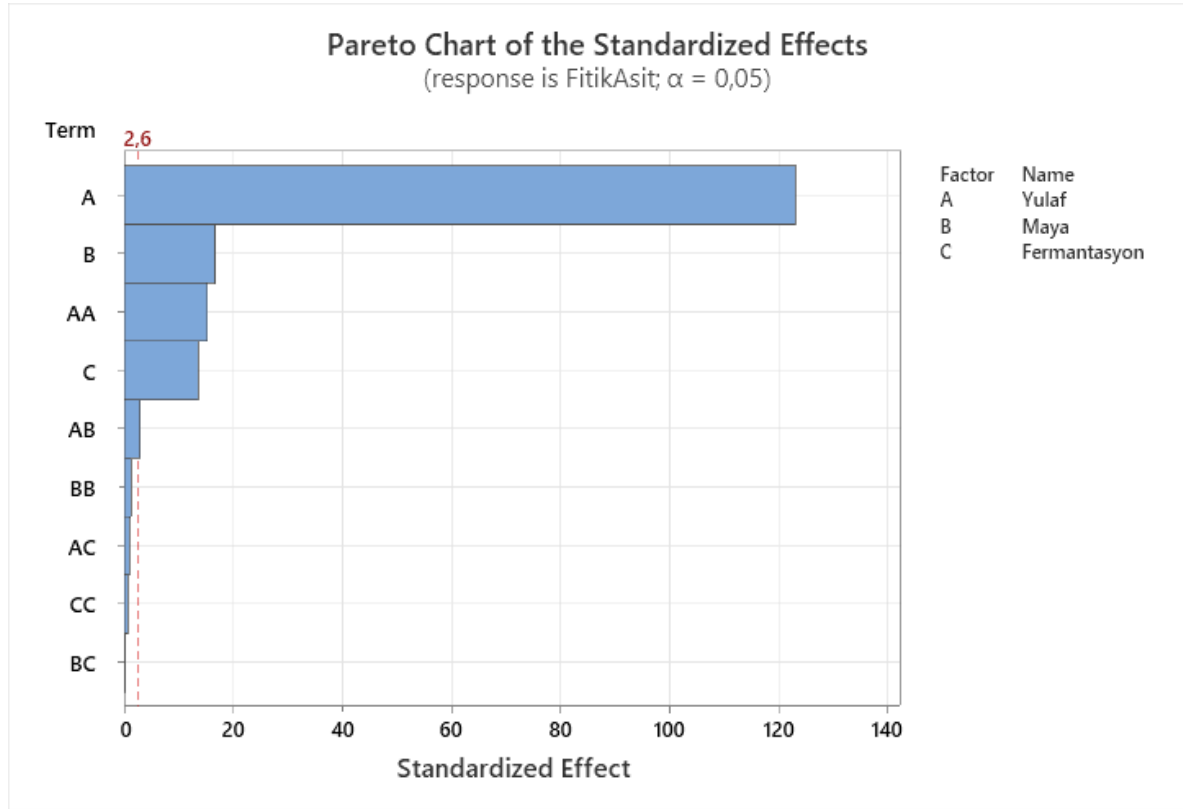
Kareler toplamı, modelin farklı bölümleri için varyasyon ölçüleridir. Tahmin edicilerin modeldeki sırası, düzeltilmiş kareler toplamlarının hesaplanmasını etkilemez.

Ortalama kareler, modeldeki sıralarına bakılmaksızın diğer tüm terimlerin modelde olduğu varsayılarak, bir terim veya modelin ne kadar varyasyonu(değişimi) açıkladığını ölçer. Düzeltilmiş kareler toplamından farklı olarak, düzeltilmiş ortalama kareler serbestlik derecelerini dikkate alır.

Varyans tablosunun analizinde her test için bir F değeri görünür. Minitab, testin istatistiksel önemi hakkında karar vermek için kullanılan p değerini hesaplamak için F değerini kullanır. p-değeri, sıfır hipotezine karşı kanıtları ölçen bir olasılıktır. Düşük olasılıklar sıfır hipotezine karşı daha güçlü kanıtlar sağlar. Yeterince büyük bir F değeri, istatistiksel önemi gösterir.

P değeri, sıfır hipotezine karşı kanıtları ölçen bir olasılıktır. Düşük olasılıklar sıfır hipotezine karşı daha güçlü kanıtlar sağlar.

Çizelge 7.4.' de faktörlere ilişkin p değerleri gösterilmektedir. Burada α (0,05) değerinden küçük olan p değeri ilgili faktörün yanıt için istatistiksel olarak önemli olduğunu gösterir. Böylelikle bu faktörler; Yulaf, Maya ve Fermantasyon ana etkileri, Yulaf*Yulaf karesel etki ve Yulaf*Maya etkileşim etkisidir.



Şekil 7.4. Standartlaştırılmış etkilerin pareto grafiği

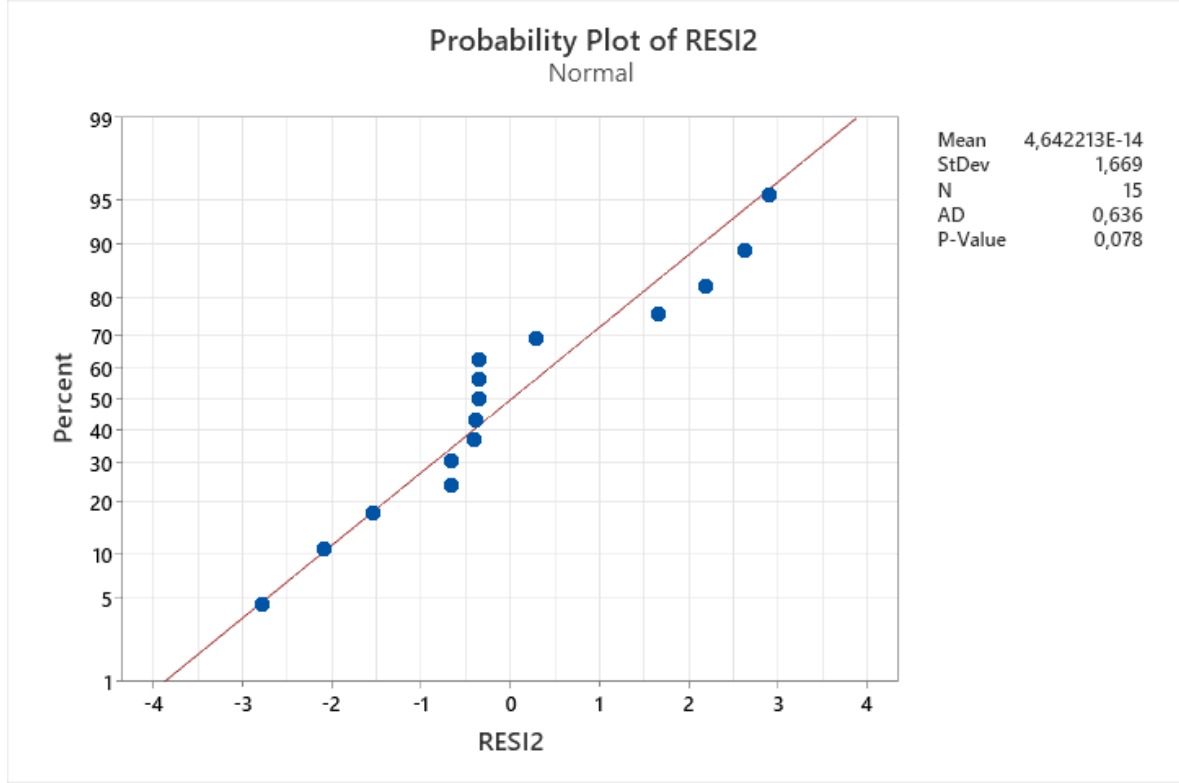
Etkilerin büyüklüğünü ve önemini belirlemek için Pareto grafiği kullanılabilir. Pareto grafiğinde, referans çizgisini geçen çubuklar istatistiksel olarak anlamlıdır. Şekil 7.4' teki grafik incelendiğinde α değeriyle meydana gelen referans çizgisini geçen faktörlerin önemli olduğu görülmektedir. Yani yulaf, maya, fermantasyon, yulaf*yulaf karesel etki, yulaf*maya etkileşim etkisi fitik asit miktarı üzerinde etkilidir.

Probleme uyan regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
 \text{FitikAsit} = & 154,8 + 14,024 \text{ Yulaf} - 7,25 \text{ Maya} - 0,128 \text{ Fermantasyon} \\
 & - 0,1735 \text{ Yulaf*Yulaf} \\
 & + 0,356 \text{ Maya*Maya} - 0,00200 \text{ Fermantasyon*Fermantasyon} \\
 & - 0,1587 \text{ Yulaf*Maya} \\
 & - 0,00525 \text{ Yulaf*Fermantasyon} - 0,0056 \text{ Maya*Fermantasyon}
 \end{aligned} \quad (7.1)$$

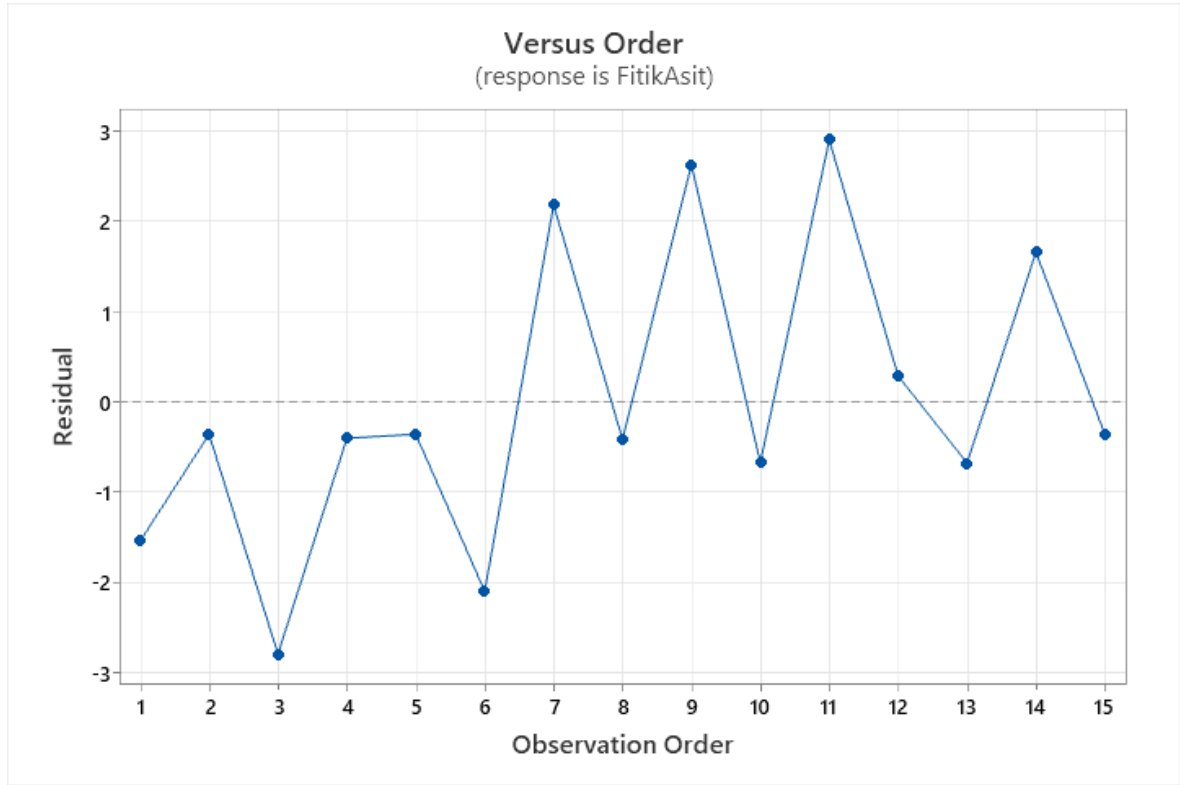
Eş. 7.1' de tüm faktörlere ilişkin istatistiksel önem ayırt edilmeksizin regresyon denklemi verilmiştir. Bir faktörün yanıt üzerindeki etkisinin gücü ve yönü diğer tüm faktörler sabit tutulduğunda görülür. Böylelikle Fitik Asit üzerinde en güçlü etkiye sahip faktör Yulaf (14,024) ana etkisidir.

Buraya kadar gerçekleştirilen analizde yanıt için önemli faktörler belirlenmiştir. Bundan sonraki analizde hedef yanıt için bu faktörlere ilişkin optimum değerler bulunacaktır.



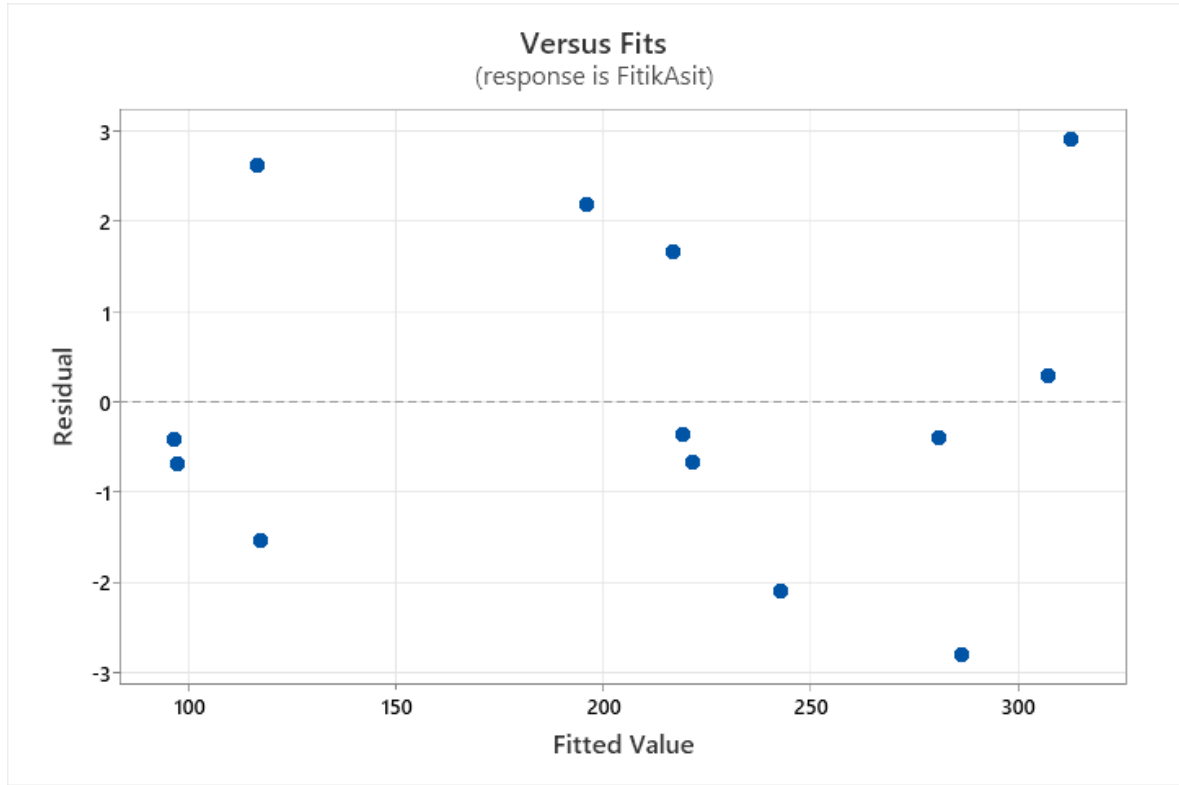
şekil 7.5. Artıkların normal olasılık grafiği

şekil 7.5.' de Anderson Darling p değeri (0,078) α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezi reddedilemez. Böylelikle artıklar için normallik varsayımının sağlandığı görülmektedir.



Şekil 7.6. Artıkların sınır grafiği

Şekil 7.6’ da artıkların veri seti içindeki sınırları görülmektedir. İdeal olan artıkların merkez çizgi etrafında rastgele düşmesidir. Dolayısıyla artıkların birbirinden bağımsız varsayımı sağlanmıştır.



Şekil 7.7. Artıkların uyum grafiği

Şekil 7.7’ de artıklara göre uyum grafiği görülmektedir. İdeal olan artıkların merkez çizgi etrafında rastgele düşmesidir. Dolayısıyla artıkların sabit varyans varsayımı sağlanmıştır.

Çizelge 7.5.’ de indirgenmiş veride model özeti aşağıdaki gibidir.

Çizelge 7.5. Model özeti

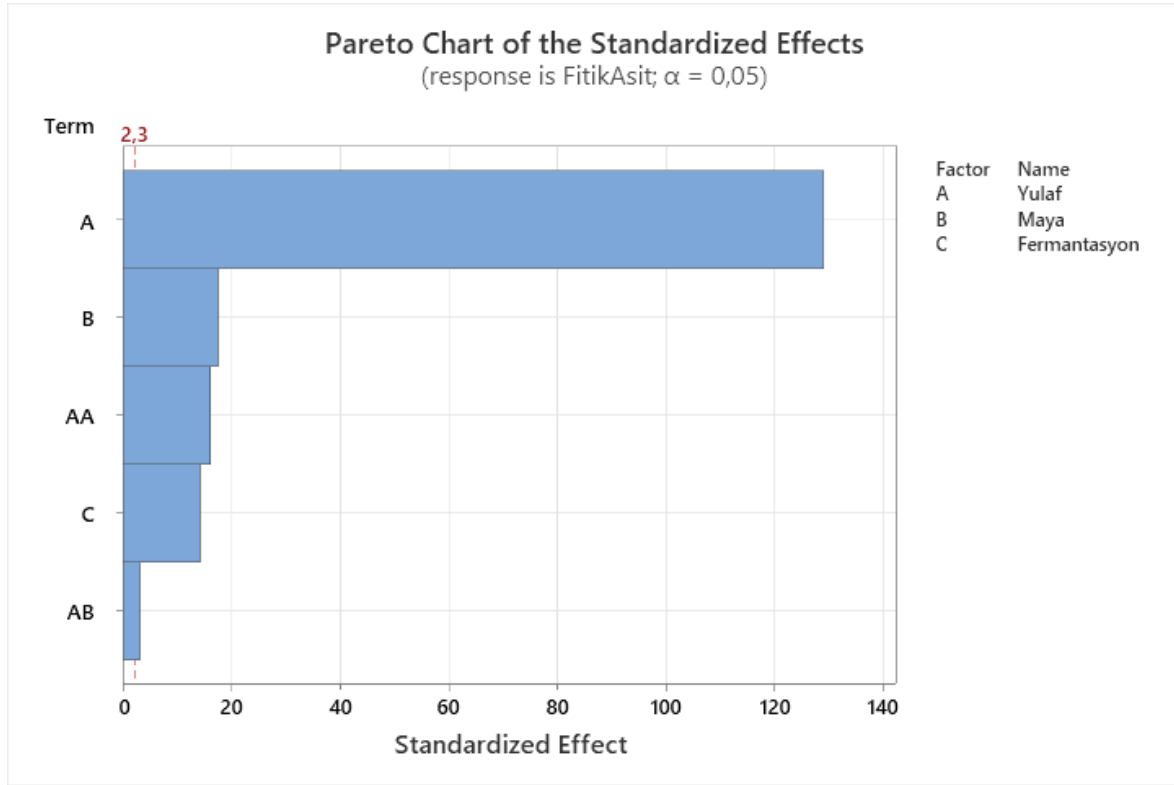
S	R-sq	R-sq(adj)	Press	R-sq(pred)
2,08209	99,95%	99,92%	173,743	99,77%

R-sq(adj) değeri yüksek olduğundan dolayı model veri setini iyi bir şekilde tanımlar. Ayrıca önemli faktörler üzerinden gerçekleştirilen analiz, bir önceki analize kıyasla R-sq değerinde düşüş, R-sq(adj) değerinde artış meydana getirmiştir.

Çizelge 7.6. Varyans analizi tablosu

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalamalar Toplamı	F	P
Model	5	75552,8	15110,6	3485,63	0,000
Doğrusal	3	74382,8	24794,3	5719,43	0,000
Yulaf	1	72181,0	72181,0	16650,37	0,000
Maya	1	1326,1	1326,1	305,90	0,000
Fermantasyon	1	875,7	875,7	202,00	0,000
Karesel	1	1129,6	1129,6	260,57	0,000
Yulaf*Yulaf	1	1129,6	1129,6	260,57	0,000
Etkileşim	1	40,3	40,3	9,30	0,014
Yulaf*Maya	1	40,3	40,3	9,30	0,014
Hata	9	39,0	4,3		
Lack-of-Fit	7	39,0	5,6	*	*
Pure Error	2	0,0	0,0		
Toplam	14				

Çizelge 7.6.' de faktörlere ilişkin p değerlerine bakıldığında tüm faktörler istatistiksel olarak anlamlıdır.



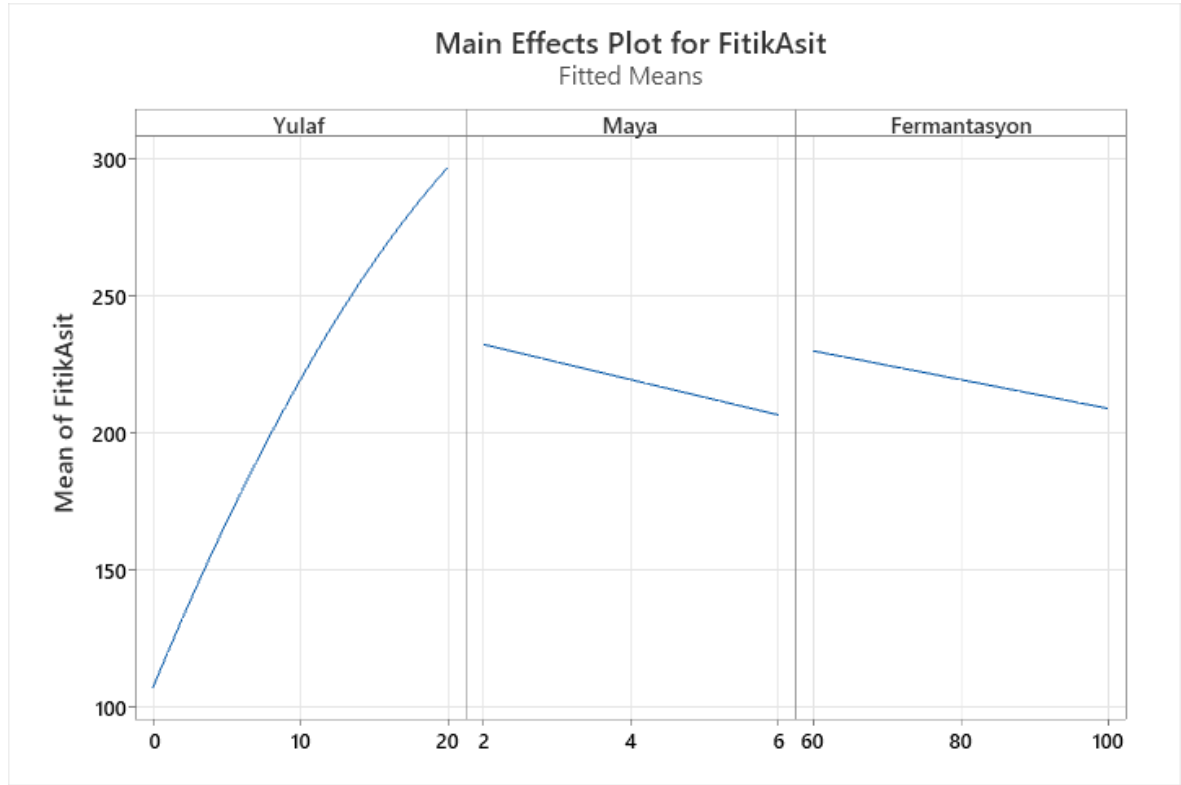
Şekil 7.8. Standartlaştırılmış artıkların pareto grafiği

Şekil 7.8’ deki grafik incelendiğinde α değeriyle meydana gelen çizgiyi geçen yani tüm faktörlerin önemli olduğu görülmektedir.

Probleme uyan regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

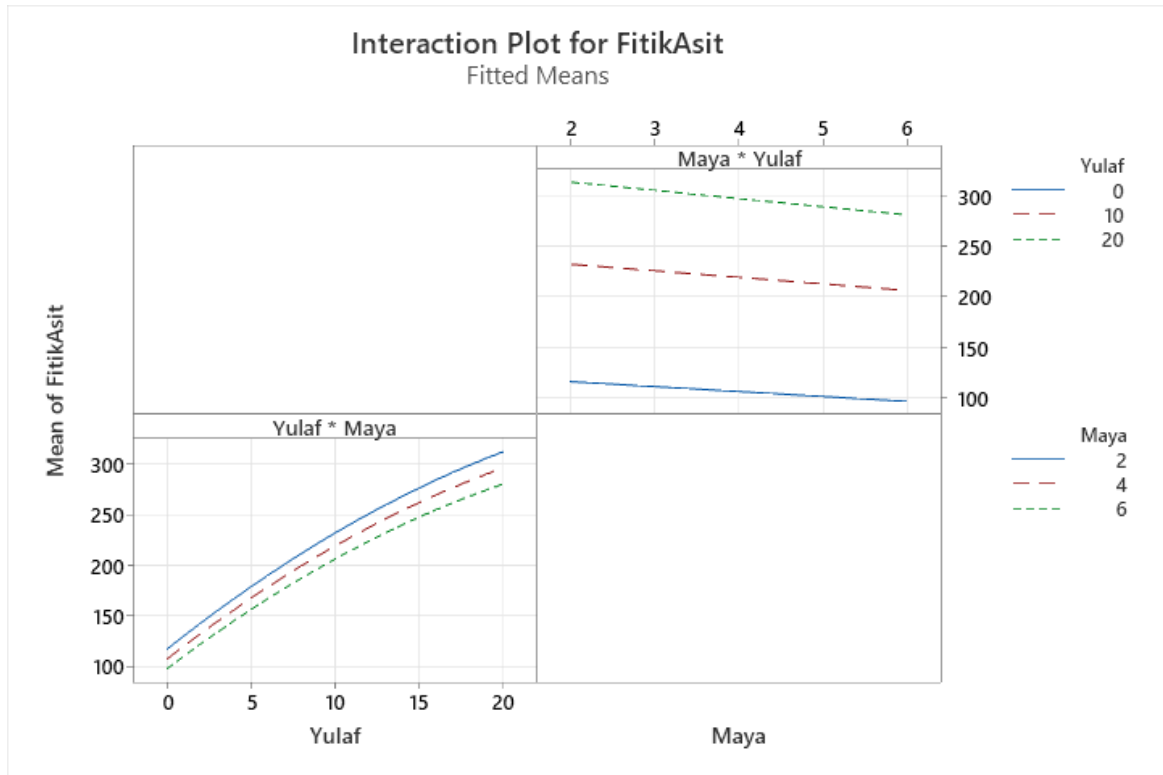
$$\begin{aligned} \text{FitikAsit} &= 168,22 + 13,613 \text{ Yulaf} - 4,850 \text{ Maya} - 0,5231 \text{ Fermantasyon} \\ &\quad - 0,1739 \text{ Yulaf*Yulaf} \\ &\quad - 0,1587 \text{ Yulaf*Maya} \end{aligned} \quad (7.2)$$

Eş. 7.2’ de sadece istatistiksel olarak önemli faktörlere ilişkin Eş. 7.1’ in indirgenmiş regresyon denklemi verilmiştir. Burada Fitik Asit üzerinde en güçlü etkiye sahip faktör Yulaf (13,613) ana etkisidir.



Şekil 7.9. Fitik Asit için ana etki grafiği

Şekil 7.9.' da faktörlere ilişkin düz olacak şekilde bir paralellik göstermediklerinden dolayı ana etkiler mevcuttur. Ana etkinin gücü çizginin eğimi ile doğru orantılıdır. Böylelikle yanıt üzerinde en büyük ana etkiye sahip olan faktör yulaftır. Ayrıca Yulaf hariç diğer tüm faktörlerin düşük seviyeden yüksek seviyeye geçmesi Fitik Asit miktarında bir azalış meydana getirecektir.



Şekil 7.10. Fitik Asit miktarı için etkileşim etkisi grafiği

Bir faktörün etkisi diğer faktörün düzeyine bağlı olduğunda etkileşim etkisinden bahsedilir. Şekil 7.10.' da çizgiler birbirine karşı paralellik göstermediğinden dolayı Yulaf*Maya etkileşim etkisi mevcuttur ve küçüktür.

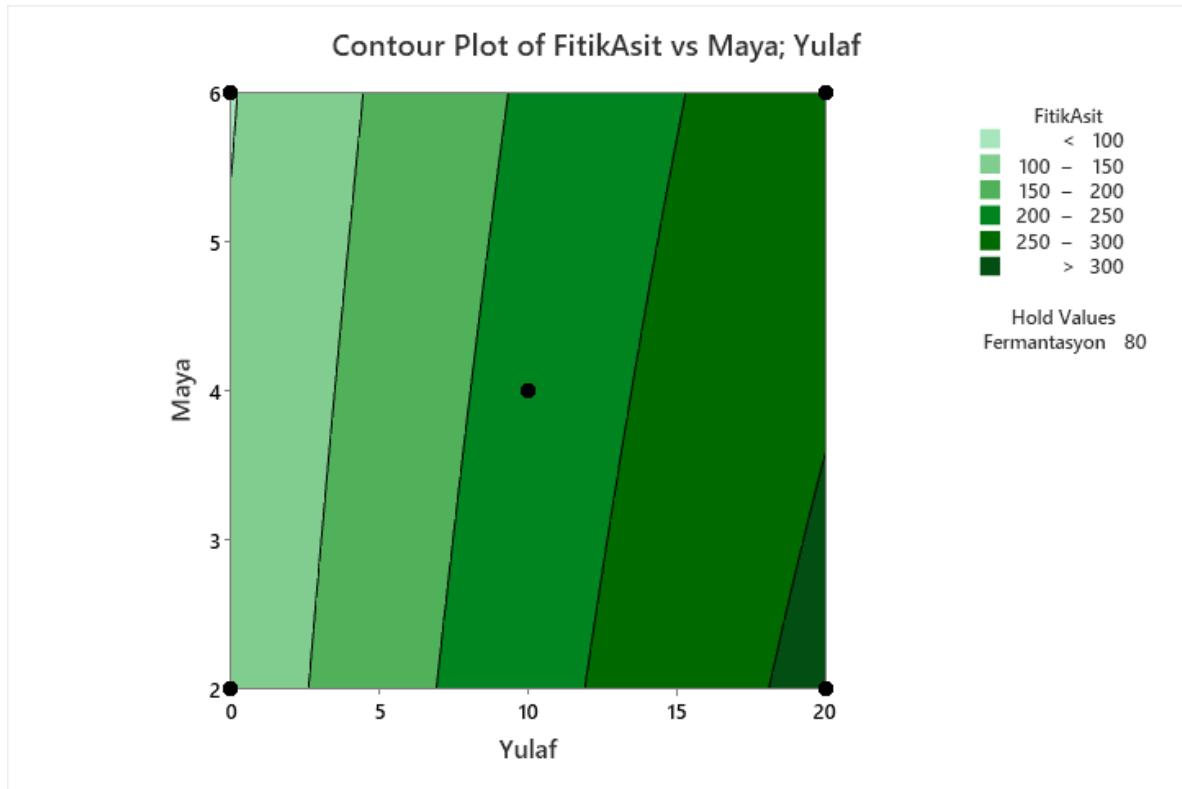
7.2. Yanıt Yüzey ve Contour Grafiği

Yanıt ile değişkenler arasındaki ilişkileri çizmek için grafikler kullanılır. Yanıt ile değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermek için ana etkiler grafiğini kullanılır. Bir değişken ile yanıt arasındaki ilişkinin ikinci bir değişkenin değerine nasıl bağlı olduğunu göstermek için bir etkileşim grafiği kullanılır.

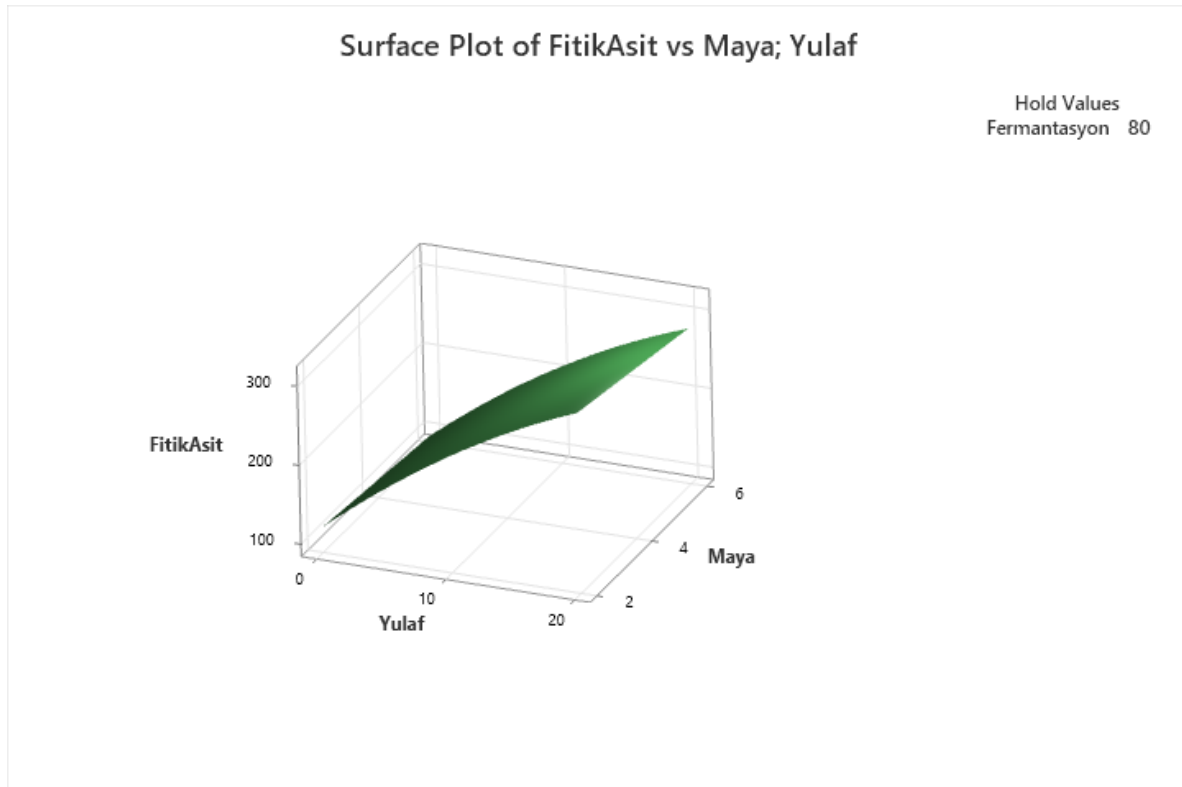
Yanıt yüzey grafiği, iki veya daha fazla faktörün düzeylerinin yanıt değişkeni üzerindeki etkisini üç boyutlu olarak gösteren grafiklerdir. Eğer iki faktörden fazla faktör mevcutsa, diğer faktörlerin düzeyleri sabitlenerek esas incelenen faktörlerin etkileri gözlemlenebilir. Model doğrusal ise yanıt yüzeyi grafiği de doğrusal bir şekil alırken, modelde karesel terimler bulunuyorsa yanıt yüzeyi eğrisel bir şekil alır.

Contour grafikleri, yüzeyin şeklini tanımlamaya ve yaklaşık olarak optimum yanıtı belirlemeye yardımcı olur. Contour grafiği, yanıt yüzeyi yöntemlerinin sonuçlarını etkili bir şekilde göstermekte kullanılan önemli grafiklerden biridir. Bu grafikte, X ve Y eksenlerinde faktörler yer alırken, eksenlerin içinde kalan alanlar yanıt yüzeylerinin aldıkları değerleri temsil eder. Yanıt yüzeyi grafiğine benzer şekilde, üçüncü bir faktör varsa bu faktörün düzeyi sabitlenerek grafiğe dahil edilebilir. Eğer oluşturulan regresyon modeli doğrusal ise eksenler arasındaki alan doğrusal çizgilerle gösterilirken, karesel bir ilişki söz konusu olduğunda bu alanlar daireler şeklinde ifade edilir (Url - 7).

Yapılan çalışmalarda, optimum yanıt bulmanın yanı sıra yanıtın iyileştiği bölgeleri bulmak daha fazla ilgi çekmektedir.

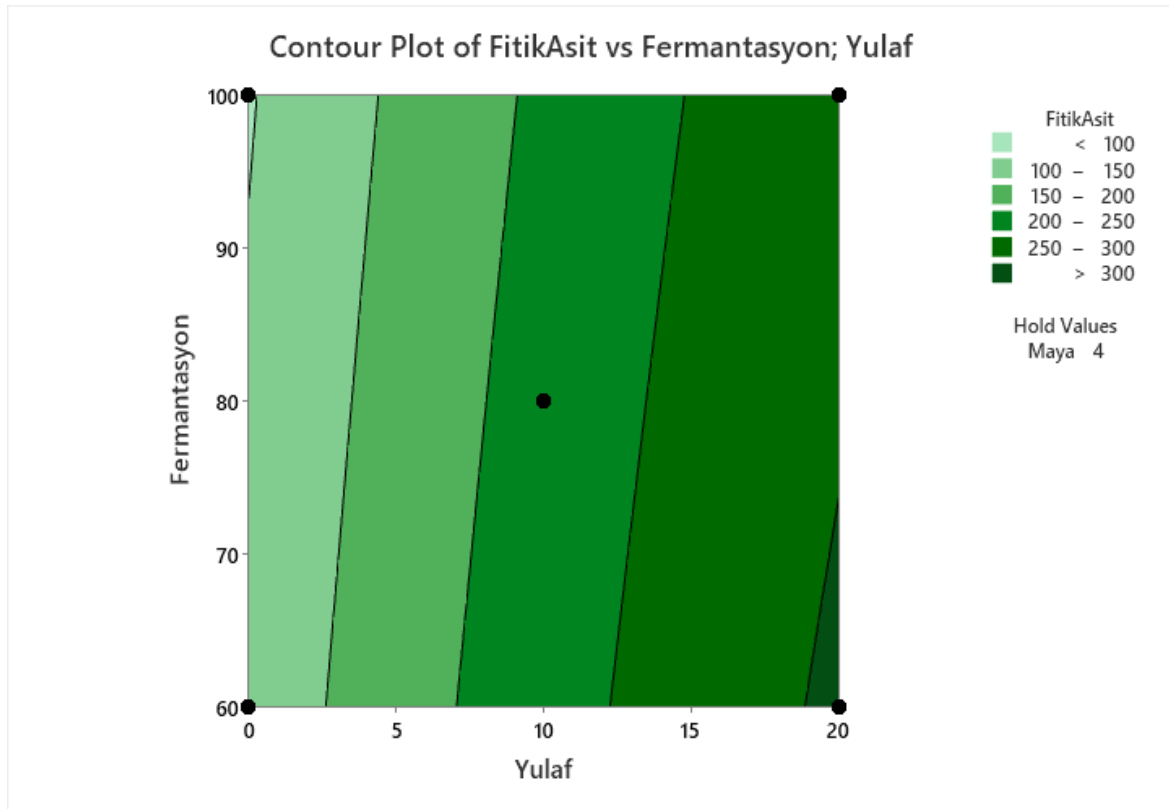


Şekil 7.11. Fermentasyon sabit tutulduğunda contour grafiği

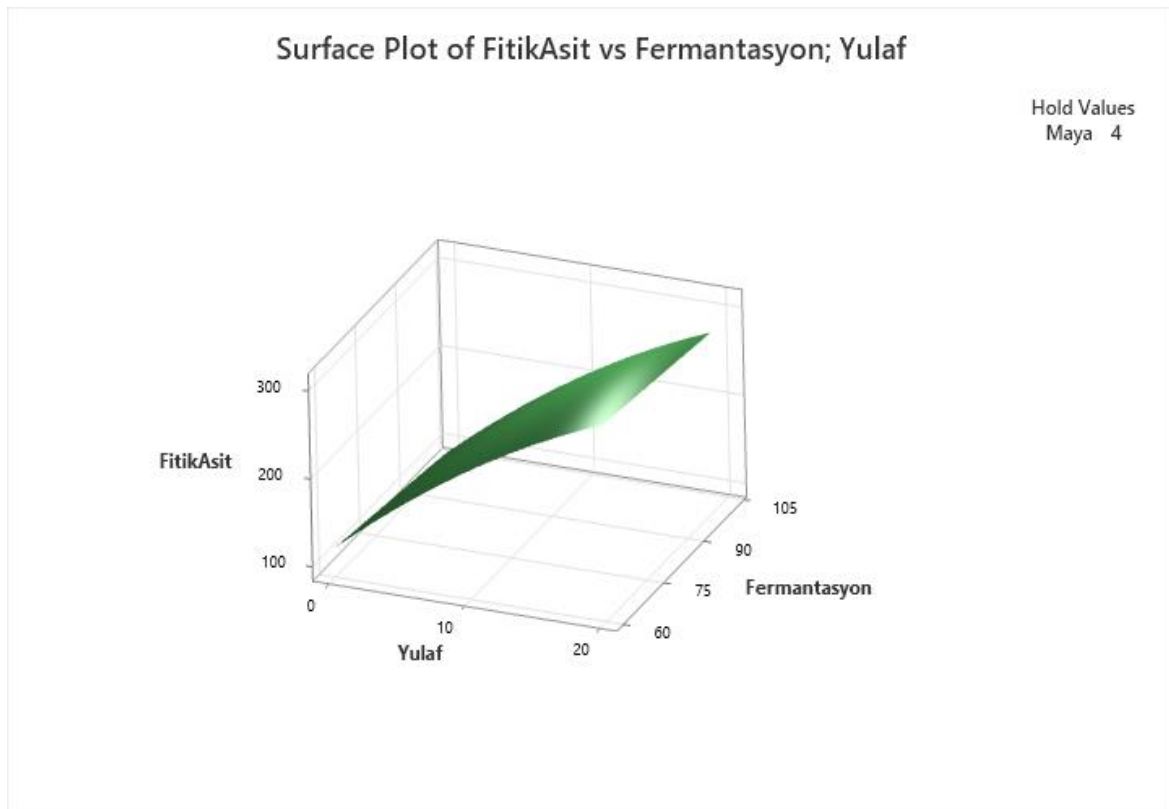


Şekil 7.12. Fermentasyon sabit tutulduğunda yanıt yüzeyi grafiği

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'deki grafikler yorumlandığında fermentasyon süresi orta noktada yani 80' de sabit tutulduğunda Maya miktarı 6 ve Yulaf miktarı 0 değerindeyken istenilen Fitik Asitin en az olduğu seviye elde edilir. Tam tersine Yulaf en yüksek yani 20 ve maya en az yani 2 değerindeyken Fitik Asit miktarı en yüksek seviyede olduğunu söylenebilir. Yine grafiğe bakıldığında merkez noktaya karşılık gelen Fitik Asit değeri 200-250 (mg/100g) değeri arasındadır.

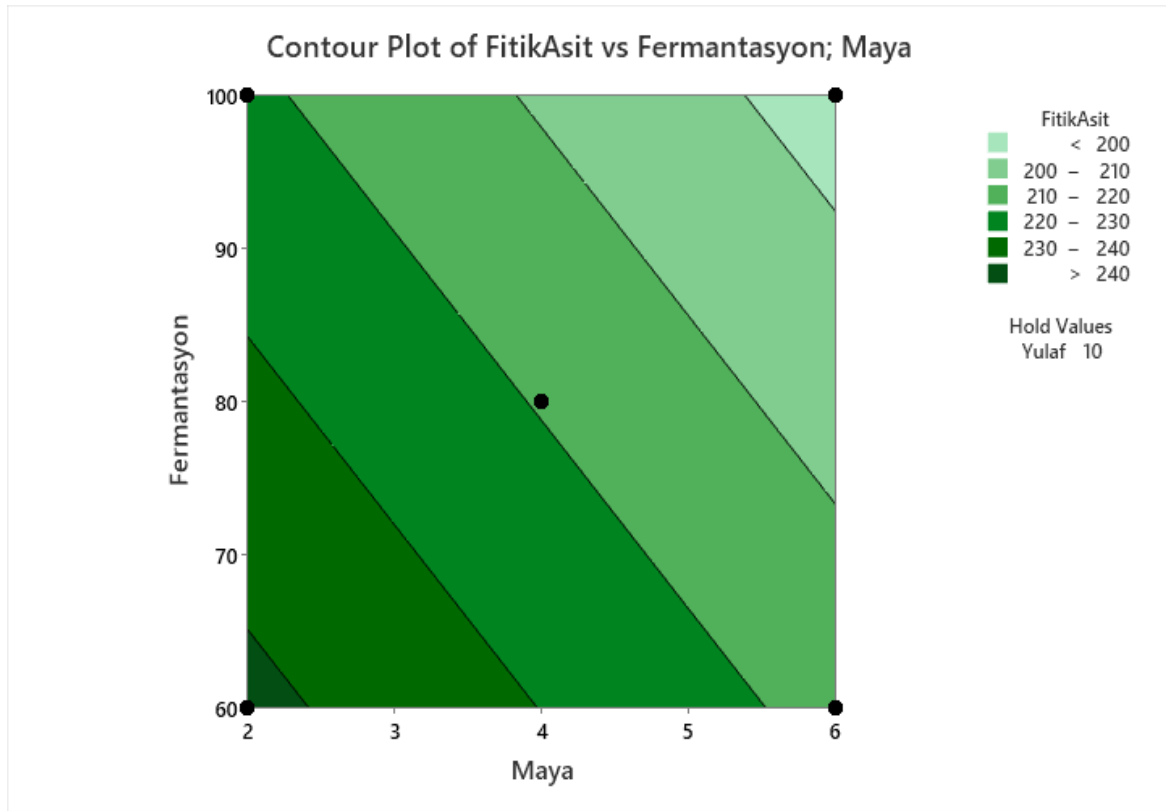


Şekil 7.13. Maya sabit tutulduğunda contour grafiği

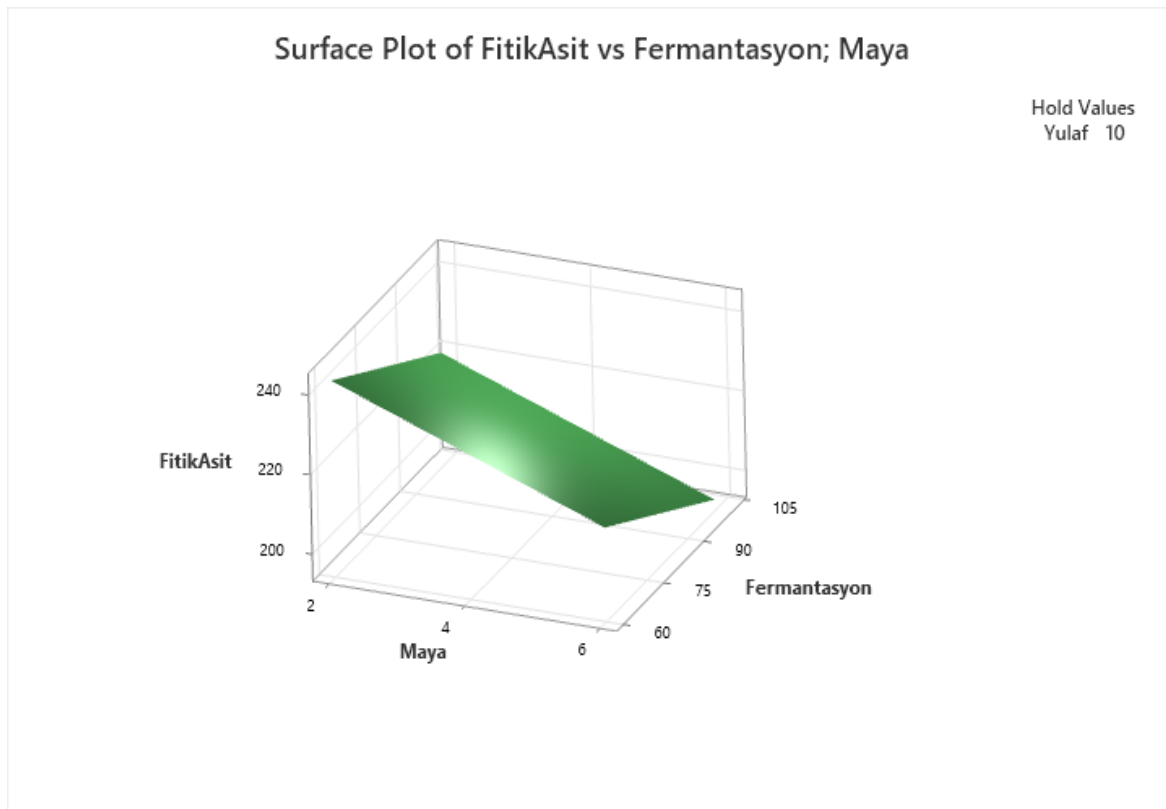


Şekil 7.14. Maya sabit tutulduğunda yanıt yüzey grafiği

Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'teki grafikler yorumlandığında Maya miktarı orta noktada yani 4' te sabit tutulduğunda Fermantasyon süresi en yüksek yani 100 ve Yulaf miktarı 0 değerindeyken istenilen fitik asitin en az olduğu seviye elde edilir. Tersine Yulaf en yüksek yani 20 ve Fermantasyon süresi en az yani 60 değerindeyken Fitik Asit miktarı en yüksek seviyede olduğunu söylenebilir. Yine grafiğe bakıldığında merkez noktaya karşılık gelen Fitik Asit değeri 200-250 (mg/100g) değeri arasındadır.



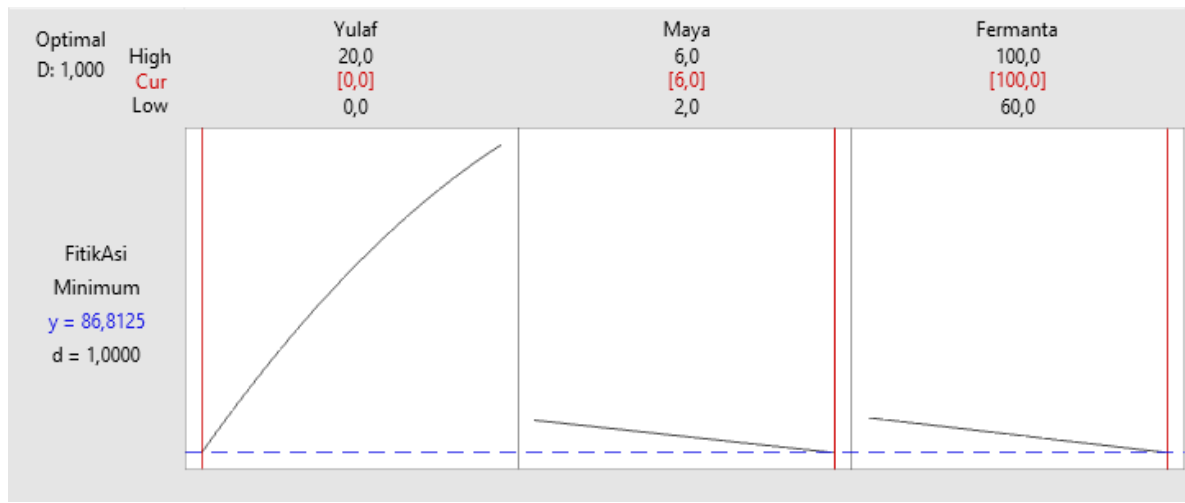
Şekil 7.15. Yulaf sabit tutulduğunda contour grafiği



Şekil 7.16. Yulaf sabit tutulduğunda yanıt yüzey grafiği

Şekil 7.15 ve Şekil 7.16'deki grafikler yorumlandığında Yulaf miktarı orta noktada yani 10' da sabit tutulduğunda Fermantasyon süresi en yüksek yani 100 ve Maya miktarı en yüksek yani 6 değerindeyken istenilen Fitik Asitin en az olduğu seviye elde edilir. Tam tersine maya en düşük yani 2 ve Fermantasyon süresi en az yani 60 değerindeyken Fitik Asit miktarı en yüksek seviyede olduğunu söyleyebiliriz. Yine grafiğe baktığımızda merkez noktaya karşılık gelen Fitik Asit değeri 210-220 (mg/100g) değeri arasındadır.

Fitik Asit değerini minimum yapan faktörlerin düzeyleri Şekil 7.17' de gösterilmiştir.



Şekil 7.17. Fitik Asiti en düşük yapan faktör düzeyleri

Optimum yanıt amaçlandığında Fitik Asit oranını en aza indirmek için arzu edilen faktör seviyeleri Yulaf kepeği (%0), Maya miktarı (%6), Fermantasyon süresi (100 dakika) şeklinde bulunmuştur.

Bireysel ve yapısal olarak uyumluluk, tanımlanmış hedeflerle bir dizi değişkenine göre ne kadar iyi bir şekilde bu hedefin karşılanacağı değerlendirir. Bireysel uyumluluk (d), belirli bir faktörün tek bir yanıtı ne kadar optimize edildiğini değerlendirirken; yapısal olarak uyumluluk (D), faktörlerin genel olarak yanıtı ne kadar optimize edileceğini değerlendirir. Uyumluluk, sıfır ile bir arasında bir aralığa sahiptir. Bir, ideal durumu temsil eder (URL 8).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deney tasarımı, bilimsel araştırmalarda ve sağlık alanında çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Amaç, üzerinde durulan yanıt değişkenine etkisi olabilecek faktörleri dikkate alarak deneme hatasını minimuma indirmektir. İnsan temel gıdası olan ekmek, uygun malzemeler kullanılarak uygun koşullarda üretildiğinde sağlıklı bireyler için herhangi bir olumsuz etki oluşturmaz. Ancak, uygun olmayan hammadde miktarlarının kullanılması, katkı maddelerinin miktarlarının optimal olmaması durumunda, üretilen ekmek sağlığı tehdit edebilir (Kılıç ve diğerleri, 2018).

Günümüzde, diyet yapan insan sayısındaki artışla lifli gıdalar olan tam tahıllı veya kepekli ekmek tüketimi, fitik asitin önemini artırmıştır. Fitik asit, minerallerin ve proteinlerin emilimini engellemektedir. Bu nedenle, bilim insanları fitik asit miktarını azaltılmış gıda üretimi üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Üründeki fitik asit miktarı, çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerle azaltılabilir (Bilgiçli, 2002, Ünsay, 2018).

Bu tezde Minitab 21 paketi kullanılarak yüzeyin istatistiksel analizi hem sayısal hem de grafiksel olarak çalışılmıştır. Sonuç olarak fitik asit oranı üzerinde etkisi olduğu düşünülen faktörler; tüm ana etkiler ile beraber, yulaf kepeği-maya miktarı etkileşim etkisi ve yulaf-yulaf karesel etkidir. Yanıt üzerinde en büyük etkiye sahip olan faktör yulaf kepeği olmakla birlikte sadece bu etkinin yönü pozitifdir. Dolayısıyla diğer tüm faktörler sabit tutulduğunda sadece yulaf kepeği oranında görülen artış Fitik asit oranında da bir artış meydana getirmektedir. Bu çalışmanın amacı Yulaf kepeği, Maya miktarı ve Fermantasyon süresi faktörleri ile bu faktörlere ilişkin seviyeler vasıtasıyla gözlemlenen Fitik Asit yanıtını minimize etmektir. Analiz sonucu minimum Fitik Asit değerini (86,8125) veren optimum faktör seviyeleri sırasıyla Yulaf kepeği için %0, Maya miktarı için %6 ve Fermantasyon süresi için ise 100 dakikadır.

Oluşturulan bu model yardımıyla verilerin elde edildiği sistemin yapısı hakkında bilgi edinmek oldukça kolaylaşır. Çalışmalarda amaç hem sistem hakkında bilgi edinmek hem de yanıt değişkeninin maksimum ya da minimum olduğu noktayı ya da aralığı belirlemektir. Çalışmanın amacı Fitik Asit miktarını minimum yapan değeri elde etmek olduğundan RSM, en dik azalış yöntemi ile minimum olduğu noktayı matematiksel olarak ortaya koymak

amacıyla kullanılmıştır.

Yanıt yüzey yöntemi, gelecekteki araştırmalarda daha geniş bir şekilde kullanılabilir. Özellikle, daha karmaşık sistemlerin modellenmesi ve optimize edilmesi için yanıt yüzey yönteminin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir. Ancak, yanıt yüzey yönteminin doğru bir şekilde uygulanması ve sonuçların doğru bir şekilde yorumlanması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Antony, J. (2003). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. (3. Baskı) Amsterdam: Elsevier Ltd. Amerika Birleşik Devletleri.7-17
- Balaban, M. (2019). Regresyon ve kriging meta-modelleri için kullanılan deney tasarımı yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1444-1455.
- Banga, JR, Balsa Canto, E., Moles, CG ve Alonso, AA (2003). Modern optimizasyon yöntemleri kullanılarak gıda işlemenin iyileştirilmesi. *Gıda Bilimi ve Teknolojisindeki Eğilimler*, 14 (4), 131-144.
- Bayrak, H., Özkaya, B. ve Tekindal, M. A. (2010). Birinci Derece Faktoriyel Denemelerde Verimlilik İçin Optimum Noktaların Belirlenmesi: Bir Uygulama/Productivity in the First Degree for the Optimum Point Determination of Factorial Trials: An Application. *Türkiye Klinikleri Biyoistatistik*, 2(1), 17-18.
- Bilgiçli, N.(2002), Fitik Asitin Beslenme Açısından Önemi Ve Fitik Asit Miktarı Düşürülmüş Gıda Üretim Metotları. *S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*. 16 (30), 79-83
- Demir, Ö., Aksu, B., ve Özsoy, Y. (2017). İlaç formülasyonu geliştirilmesinde deney tasarımı (doe) seçimi ve kullanımı. *Marmara Pharmaceutical Journal* 21(2), 216-227
- Elyas, N. (2011). *DLLME yöntemi ile antimon (III)'ün zenginleştirilmesi, faktöriyel tasarım kullanarak deneysel koşulların optimizasyonu ve FAAS ile tayini*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 40-42.
- Erdil, A. (2020). Deney Tasarımının Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Önemi: Otomobil Endüstrisindeki Bir Fabrikada Uygulaması. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (24), 527-558.
- Eriksson L, Johansson E, Kettaneh-Wold N, Wikström C, Wold S. (2008) *Design of experiments: Principles and applications* (3rd ed). MKS Umetrics AB, Sweden.7-386.
- Hasgül, Ö. (2011). Ürün ve süreçlerin geliştirilmesinde deney tasarımı: gıda sektöründe bir uygulama. *Journal of Management and Economics Research*, 9(15), 42-67.
- İnternet: Deneyisel Bir Tasarım Nasıl Seçilir? URL - 1: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri33.htm>. Son Erişim Tarihi: 11.08.2024
- İnternet: Yüksek Dereceli Tasarımlar İçin Faktör Düzeyleri. URL - 2: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri336.htm>. Son Erişim Tarihi: 12.08.2024
- İnternet: Box-Behnken Tasarımı. URL - 3: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3362.htm>. Son Erişim Tarihi: 03.08.2024

İnternet: Box-Behnken Tasarımı. URL - 4: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/response-surface-designs/blocks-in-a-box-behnken-design/>. Son Erişim Tarihi: 03.11.2024

İnternet: Biyokütle ve Biyoenerji. Cilt 151, Ağustos 2021, 106166. URL - 5: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/box-behnken-design>. Son Erişim Tarihi: 03.11.2024

İnternet: Lack of Fit. URL - 6: <https://www.jmp.com/support/help/en/18.1/index.shtml#page/jmp/lack-of-fit.shtml>. Son Erişim Tarihi: 03.11.2024

İnternet: Yanıt Yüzey ve Contour Grafiği. URL - 7: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/mixtures/contour-surface-plots/>. Son Erişim Tarihi: 03.11.2024

İnternet: Bireysel ve Yapısal Olarak Uyumluluk. URL - 8: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/using-fitted-models/supporting-topics/response-optimization/what-are-individual-desirability-and-composite-desirability/> Son Erişim Tarihi: 03.11.2024

Karakoç, Ö. (2006). *Deneylerin faktöriyel tasarımı*. Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 36-47.

Karslıoğlu, Z. (2013). *Fire analizinde deney tasarımı*. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 11-15.

Kılıç, D., Bayrak, H. (2018) *Faktöriyel Denemeler İçin Yanıt Yüzeyi Metodunun Uygulanması*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-5.

Kılıç, D., Bayrak, H. ve Özkaya, B. (2018). Mısır Ekmeğindeki Fitik Asit Miktarını Etkileyen Faktörlerin Belirlemede Yanıt Yöntem Yüzeyi Yaklaşımı. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 44 (2), 121-134.

Koç, B., ve Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *Gıda*, 35(1), 1-8.

Li, M., Feng, C., Zhang, Z., Liu, X., Ma, W., Xue, Q. and Sugiura, N. (2011). Optimization of electrochemical ammonia removal using Box–Behnken design. *Journal of electroanalytical chemistry*, 657(1-2), 66-73.

Mercan, Ş. (2019). *Deney Tasarımı Ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi*, Doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 15-17.

Murat, D. (2013). *Kalite karakteristiğinin modellenmesinde tepki yüzeyi metodolojisi: Bir uygulama denemesi*, Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 31-34.

- Myers RH, Montgomery DC. (2002) *Response Surface Methodology Process And Product Optimization Using Designed Experiments*. In: Myers RH, Montgomery DC, eds. A WileyInterscience Publication. 2nd ed. Canada: John Wiley and Sons, 17-85, 203-303.
- Myers Raymond H. – Montgomery Douglas C. – Vining G. Geoffrey – Borror Connie M. – Kowalski Scott M. (2004), *Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey*, Journal of Quality Technology, 36(1), 53-77.
- Özonur, D., Kılıç, D., Akdur, H. T. K., ve 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.
- Özdemir İ. (2018), *Kesirli Faktöriyel Tasarım ve Taguchi Yönteminin Kompozit Malzeme Üretimi Üzerine Uygulanması*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 18-20.
- Özensoy, E. (1982). *Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri*. (24. Sayı) Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü yayınları, 35-45.
- Özkan, N. D. (2019). *Kauçuk üretiminde istatistiksel deney tasarım yöntemiyle makine-süreç parametrelerinin optimizasyonu*. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, 28-40.
- Şirvancı, M. (1997), *Kalite için Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı*. (1. Baskı). İstanbul: Literatür Yayınları, 5-20.
- Tekindal, M., A. (2009). *Yanıt Yüzey Metodu ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-10.
- Turan, M. D., ve Altundoğan, H. S. (2011). Hidrometalurjik araştırmalarda yanıt yüzey yöntemlerinin (yyy) kullanımı. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 50(3), 11-23.
- Ünsal Canay, F. (2018). *Durum buğdayı çeşitlerinin fitik asit miktarları, makarnaya işleme sırasındaki değişiklikler ve fitik asitin azaltılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 6-9.



Gazili olmak ayrıcalıktır