



**DENEY TASARIMINDA KARMA
ETKİLER MODELİNİN ÜRETİM
SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mukaddes ŞİMŞEK

Eskişehir 2024

**DENEY TASARIMINDA KARMA ETKİLER MODELİNİN ÜRETİM
SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI**

Mukaddes ŞİMŞEK

Yüksek Lisans Tezi

İstatistik Anabilim Dalı

Uygulamalı İstatistik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Berna YAZICI

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

MUKADDES ŞİMŞEK 'in DENEY TASARIMINDA KARMA ETKİLER MODELİNİN ÜRETİM SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI başlıklı tezi 06/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği” nin ilgili maddeleri uyarınca, İstatistik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Berna YAZICI

Üye

: Prof. Dr. Özlem ALPU

Üye

: Doç. Dr. Özer ÖZDEMİR

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Mukaddes şİMşEK, DENEY TASARIMINDA KARMA ETKİLER MODELİNİN ÜRETİM SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Berna YAZICI

ÖZET
DENEY TASARIMINDA KARMA ETKİLER MODELİNİN ÜRETİM
SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI

Mukaddes ŞİMŞEK

İstatistik Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2024

Danışman: Prof. Dr. Berna YAZICI

Fabrikaların üretim hattında, hammaddeler çeşitli işlemlerden geçirilerek yarı mamul ve son ürün haline getirilmekte ve üretim esnasında, kalite kontrol ve denetim süreçleri ile ürünlerin standartlara uygunluğu amaçlanmaktadır. Üretimin her aşamasında müşteri memnuniyeti, kalite ve yüksek verimlilik hedeflenmektedir. Yüksek verimlilik için üretim hattındaki faktörler ve bu faktörlerin düzeyleri göz önünde bulundurularak, üretim için en uygun koşul sağlanmaktadır. Üretim sürecinde uygun koşullar elde edilerek üretim yapılması, fabrikanın verimliliği ve ürün kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Yüksek verimlilik ile ürün kalitesinin sağlanması, ortamın sıcaklık, nem ve hijyen koşullarının kontrol edilmesi, makinelerin düzenli bakımı, kalibrasyonlarının yapılması, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyması ile sağlanmaktadır. Böylece, üretim sırasında herhangi bir aksaklık yaşanmadan, yüksek kaliteli ve standartlara uygun ürünlerin elde edilmektedir.

Bu çalışmada, bir fabrikadaki çikolata üretim hattında yer alan kalıp ısıtma ve kalıp soğutma kabinlerindeki sıcaklık ve nem oranlarının üretimdeki ıskarta oranına etkileri araştırılmıştır. Veri toplama aracı olarak, sensörlerden elde edilen kalıp ısıtma ve kalıp soğutma kabinlerindeki ortam sıcaklığı ve nem verileri kullanılmıştır. Karma etkiler modeli istatistiksel analiz olarak kullanılmıştır. Bu araştırmanın amacı, üretim hattındaki nem ve sıcaklığın ıskarta oranı üzerine etkilerini belirlemektir.

Anahtar Sözcükler: Deney tasarımı, Üretim, Çok faktörlü deneyler, Karma etkiler modeli

ABSTRACT
**APPLICATION OF MIXED EFFECTS MODEL IN EXPERIMENTAL
DESIGN IN PRODUCTION SECTOR**

Mukaddes ŞİMŞEK

Department of Statistics

Eskişehir Technical University, Graduate School of Education, August 2024

Supervisor: Prof. Dr. Berna YAZICI

In the production line of the factories, raw materials are processed through various processes and turned into semi-finished and final products, and during production, quality control and inspection processes aim to ensure that the products comply with the standards. Customer satisfaction, quality and high efficiency are targeted at every stage of production. For high efficiency, the most suitable conditions for production are provided by taking into account the factors in the production line and the levels of these factors. Obtaining appropriate conditions during the production process is critical for the efficiency of the factory and product quality. Ensuring high efficiency with product quality is achieved by controlling the temperature, humidity and hygiene conditions of the environment, regular maintenance, calibration of the machines, and compliance of the employees with occupational health and safety rules. Thus, high quality and standard-compliant products are obtained without any disruptions during production.

In this study, the effects of temperature and humidity rates in the mold heating and mold cooling cabins on the chocolate production line in a factory on the scrap rate in production were investigated. Ambient temperature and humidity data in mold heating and mold cooling cabins obtained from sensors were used as a data collection tool. Mixed Effects Models were used as statistical analysis. The purpose of this research is to determine the effects of humidity and temperature in the production line on the reject rate.

Keywords: Experimental design, Production, Multi-factorial experiments, Mixed effects model

TEŞEKKÜR

Beni her zaman ve her koşulda destekleyen aileme; bana sevgisini hep hissettiren, cesaretlendiren, güçlü bir kadın olmamı sağlayan, pes etmeme izin vermeyen, maddi – manevi her zaman yanımda olan annem Mariye ŞİMŞEK’ e, bana olan inancı, sonsuz desteği ve sevgisini hissettiğim erkek kardeşim Maşuk ŞİMŞEK ve kız kardeşim Rojin ŞİMŞEK’ e, şuan hayatta ve aramızda olmasa bile bugünlere gelmemde emeği olan ve sonsuz sevgisini hep hissettiğim babaannem Fincan ŞİMŞEK’ e, yine desteğini her koşulda hissettiğim Hüseyin ÇOLAK’ a gönülden teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca örnek aldığım, birlikte çalışmaktan çok mutlu olduğum, zaman farketmeksizin her ihtiyacım olduğunda iletişime geçebildiğim ve ulaşabildiğim, her zaman beni destekleyen değerli hocam Prof. Dr. Berna YAZICI’ ya şükranlarımı sunuyorum. Bu zamanlara gelmememde emeği geçen Eskişehir Teknik Üniversitesi İstatistik Bölümü hocalarıma, eğitim hayatım boyunca yolumdan geçen ve beni destekleyip, yanımda olan arkadaşlarıma sevgilerimi sunarak teşekkür ederim.

Çalışmalarına verdiği desteklerden dolayı iş arkadaşım Kadir KAZDAL’ a, bu çalışma için beni yönlendiren ve destekleyen müdürüm Tahir MUTLU’ ya teşekkür ederim.

Önce kendim, sonra ailem için...

Mukaddes ŞİMŞEK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mukaddes ŞİMŞEK

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY TASARIMI VE KULLANILAN MODELLER.....	7
2.1. Tek Etkenli Modeller.....	9
2.2. Çok Etkenli Modeller	10
2.3. Çok Değişkenli Modeller	10
3. KARMA MODELLER: SABİT, RASTGELE VE KARMA ETKİLER MODELİ.....	12
3.1. Sabit Etkiler Modeli (Fixed Effects Model).....	13
3.2. Rastgele Etkiler Modeli (Random Effects Model)	14
3.3. Karma Etkiler Modeli (Mixed Effects Model)	16
3.4. Karma Modellerin Avantajları ve Dezavantajları	18
3.5. Karma Etki Modellerinin Teorik Temelleri ve İstatistik, Endüstriyel, Biyomedikal ve Diğer Uygulamalı Bilimlerde Kullanımı	20
4. UYGULAMA	24
4.1. Veri Setinin Tanımı	24

4.2. Analiz ve Bulgular	27
4.3. Nem ve Sıcaklık Değerlerinin Iskarta Oranına Etkisi	44
5. SONUÇLAR.....	46
KAYNAKÇA.....	48
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3. 1. Karma Etkiler Modeli ile ANOVA Arasındaki Farklar	25
Tablo 4. 1. Veri Seti	25
Tablo 4. 2. Sabit Etkiler Faktör Bilgisi.....	32
Tablo 4. 3. Sabit Etkilerin Testleri.....	32
Tablo 4. 4. Model Özeti.....	33
Tablo 4. 5. Katsayıların Analizi.....	34
Tablo 4. 6. Olağandışı Gözlemler İçin Tanılama.....	35



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4. 1. Koşullu Artık Grafikleri	35
Şekil 4. 2. Iskarta Oranı için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot)	36
Şekil 4. 3. Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği.....	38
Şekil 4. 4. Kalıp Isıtma Nem Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği	39
Şekil 4. 5. Soğutma Sıcaklık Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği	40
Şekil 4. 6. Soğutma Nem Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği.....	41
Şekil 4. 7. Bağımsız Değişkenlerin Histogram Grafikleri.....	42
Şekil 4. 8. Etkileşim Grafiği	43



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Ortak Sabit Terim
α_i	: Sabit Etkiler (A Bağımsız Değişkeninin i-inci Düzeyinin Etkisi)
$(\alpha\beta)_{ij}$	: A ve B Bağımsız Değişkenlerinin Etkileşim Etkisi
AICc	: Akaike Information Criterion Corrected (Düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
B	: $k \times p$ Boyutunda Parametre Matrisi
BICc	: Bayesian Information Criterion Corrected (Düzeltilmiş Bayesian Bilgi Kriteri)
γ_j	: Rastgele Etkili Faktörlerin Etkisi
Cov	: Kovaryans
CRD	: Completely Randomized Design(Tamamen Rastgele Tasarım)
D_i	: Her Birey için Kukla Değişken
E	: $n \times p$ Boyutunda Hata Matrisi
EM	: Expectation - Maximization (Beklenti ve Maksimizasyon)
$f(Y_{it} \theta)$	: Koşullu Olasılık Dağılımı
H_0	: Sıfır Hipotezi
H_1	: Alternatif Hipotez
i	: Her Vardiya (1, 2, ... , 54)
j	: Rastgele Etkilerin Uygulandığı Faktör Seviyeleri
k	: Bağımsız Değişken Sayısı
KEM	: Karma Etkiler Modeli
$L_R(\theta Y)$	: Kısıtlı Olasılık Fonksiyonu
$L(\theta Y)$	: Olasılık fonksiyonu
μ	: Genel Ortalama

MANOVA: Multivariate Analysis of Variance (Çok Değişkenli Varyans Analizi)

$N(0, \sigma^2)$: Tek Değişkenli Normal Dağılım

$N(0, \Sigma)$: Çok Değişkenli Normal Dağılım

n : Gözlem Sayısı

OLS : Ordinary Least Squares (En Küçük Kareler Yöntemi)

p : Bağımlı Değişken Sayısı

p_value : p-değeri (Olasılık Değeri)

REML : Restricted Maximum Likelihood (Kısmi Maksimum Olasılık)

R-sq : Belirlilik Katsayısı

R-sq(adj) : Düzeltilmiş Belirlilik Katsayısı

S : Standart Hata

SE Coef : Katsayının Standart Hatası

σ : Standart Sapma

σ^2 : Varyans

τ_i : i-inci Grubun Etkisi

t_value : t-değeri (t-Testi İstatistik Değeri)

Var : Varyans

u_i : Bireyler Arası Rastgele Etkiler

X : $n \times k$ Boyutunda Bağımsız Değişken Matrisi

X_{it} : Bağımsız Değişkenler

Y : $n \times p$ Boyutunda Gözlem Matrisi

Y_{ij} : i-inci Grup ve j-inci Denekteki Gözlem Değeri

Y_{it} : i Bireyinin t Zamanındaki Bağımlı Değişken Değeri

$\tilde{Y}_{it}$ ve $\tilde{X}_{it}$: t Zamanında i Bireyi için Dönüştürülmüş Bağımlı ve Bağımsız Değişkenler

$\bar{Y}_i$ ve $\bar{X}_i$: Birey i için Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Tüm Zaman Dilimleri Üzerindeki Ortalamaları

Y_{ijk} : i-inci Düzeydeki A ve j-inci Düzeydeki B Bağımsız Değişkenlerine ve k-inci Deneğe Ait Gözlem Değeri

Z_value : Z-değeri (Z-Testi İstatistik Değeri)

β : Bağımsız Değişkenlerin Katsayıları

β_j : B Bağımsız Değişkeninin j-inci Düzeyinin Etkisi

ϵ_{it} : i Bireyi veya Gözlemi ve t Zaman Dilimi için Hata Terimi

ϵ_{ij} : i Bireyi veya Gözlemi ve j Kategorisi veya Grubu için Hata Terimi

ϵ_{ijk} : i Bireyi, j Grubu veya Kategorisi ve k Üçüncü Bir Seviyedeki Bir Gözlem için Hata Terimi

Σ : Kovaryans Matrisi

θ : Model Parametreleri

1. GİRİŞ

Günümüzde üretim sektörü, dünya ekonomisinin temel taşlarından birini oluşturmakta ve giderek daha karmaşık bir hale gelmektedir. Üretim sektörü, çeşitli endüstrilerde faaliyet gösteren işletmelerin, hammaddeyi işleyerek nihai ürünlere dönüştürdüğü ve tüketicilere sunmaya hazırladığı bir süreçten oluşmaktadır. Bu sektörde yer alan işletmeler, sürekli olarak verimliliklerini artırmak, maliyetleri azaltmak ve ürün kalitesini iyileştirmeyi amaçlamakla beraber, sürekli kendilerini geliştirmeyi ve bu doğrultuda gerekli durumlarda da kendilerini değiştirmeyi amaç edinmektedir. Üretim sektörü, istihdamın önemli bir kaynağı olmasının yanı sıra ekonomik büyümeye de katkısı olan bir sektördür. Bir ülkenin üretim sektöründeki performansı, genellikle o ülkenin ekonomik gücünü ve rekabetçiliğini belirleyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, üretim sektörünün sürdürülebilirliği ve rekabetçiliğini artırmak için sürekli olarak çeşitli stratejiler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

Son zamanlarda teknolojinin hızla gelişmesiyle beraber otomasyon, robotik teknolojiler, yapay zeka ve veri analitiği gibi yenilikçi teknolojiler, üretim süreçlerini optimize etmek ve rekabet avantajı sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Brown & Prescott, 2018; Lee & Kim, 2021). Üretim sürecinde yer alan faktörler ve bunların farklı düzeylerinin üretimdeki etkileri ise endüstride sürekli olarak araştırılan önemli bir konu haline gelmiştir (Chen & Zhang, 2018). Hammaddenin işlenmesinden nihai ürüne kadar olan her aşamada, malzeme kalitesi, makine hızı, işçi sayısı, işlem sıcaklığı ve nem düzeyi gibi faktörler üretim sürecinin verimliliği, kalitesi ve maliyeti üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etkili olabilmektedir (Jackson, Jones, & Smith, 2012; Smith & Green, 2019).

Faktörlerin farklı düzeylerinin üretim üzerindeki etkilerinin araştırılması, üretim sürecinin daha sürdürülebilir hale getirilmesine de katkıda bulunmaktadır (Garcia & Perez, 2018). Çevresel etkilerin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması gibi sürdürülebilirlik hedefleri, bu tür araştırmaların önemli bir odak noktası haline gelmiştir (White, Brown, & Miller, 2019). Sonuç olarak, üretim sektörü dünya ekonomisinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve sürekli olarak değişen iş dünyasına uyum sağlayarak önemli bir rol oynamaya devam etmektedir (Deming, 1986). Üretim sürecindeki faktörlerin ve düzeylerinin araştırılması, işletmelere daha verimli, az

maliyetli, rekabetçi ve sürdürülebilir bir üretim süreci oluşturmada önemli bir rol oynamaktadır (Crosby, 1979; Oakland, 2019).

Karma etkiler modeli (Mixed effects model), özellikle karmaşık veri yapılarının analizinde sağladığı esneklik ve doğruluk nedeniyle son yıllarda üretimde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu modelin üretim süreçlerinde kullanımına yönelik çalışmalar, 2010'ların başından itibaren yoğunlaşmış olup, özellikle varyansın doğru bir şekilde tahmin edilmesi, sabit ve rastgele etkilerin ayrıştırılması ve bu etkilerin üretim kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin, Yıldız ve arkadaşları (2016) karma etkiler modelinin, otomotiv üretim hattında kalite kontrol süreçlerindeki hataların belirlenmesi ve giderilmesinde başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir (Yıldız ve arkadaşları, 2016). Ayrıca, Arslan ve Kocaman (2018) tarafından yapılan bir başka çalışmada, karma etkiler modelinin, tekstil üretiminde hammadde varyasyonlarının nihai ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmede etkin bir araç olduğu belirtilmiştir (Arslan & Kocaman, 2018). Bu çalışmalar, karma etkiler modelinin üretim sektöründe kalite kontrol, verimlilik analizi ve süreç iyileştirme gibi alanlarda önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır.

Literatürde, üretim süreçlerinde oluşan ıskarta oranını etkileyen çeşitli faktörler geniş bir şekilde ele alınmıştır. Bu faktörler arasında en belirgin olanları malzeme kalitesi, makine ve ekipman ayarları, çevresel koşullar (sıcaklık ve nem gibi), iş gücü yetkinliği ve üretim hattındaki süreçlerin kontrolü yer almaktadır.

Malzeme kalitesi, kullanılan hammaddelerin tutarlılığı ve saflığı ile doğrudan ilişkilidir. Düşük kaliteli malzemeler daha yüksek ıskarta oranlarına yol açabilmektedir. Örneğin, Zhang ve Li (2019), düşük kaliteli hammaddelerin üretim sırasında daha fazla hataya ve dolayısıyla ıskarta oranının artmasına neden olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Smith ve Jones (2020) de, malzeme kalitesinin ıskarta oranları üzerindeki etkisini vurgulamış ve kaliteli malzemelerin kullanımının, ürün kusurlarını azalttığını belirtmiştir. Makine ve ekipman ayarları, doğru kalibrasyon ve bakım yapılmadığında ürün kalitesinde tutarsızlıklara ve ıskarta oranının fazla olmasına neden olabilir. Chen ve Zhang (2018), üretim makinelerinin düzenli bakım ve kalibrasyonunun, üretim kalitesini artırarak ıskarta oranlarını önemli ölçüde düşürdüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca, Johnson ve Taylor (2017), makine ayarlarının optimize edilmesinin, üretim verimliliğini ve ürün kalitesini artırdığını belirtmiştir. Çevresel koşullar, özellikle sıcaklık ve nem, üretim sürecinde hassas ayarlamalar gerektiren bir süreçtir. Bu değişkenlerin kontrol edilmesi,

ürün kalitesinin korunmasında kritik rol oynamaktadır. Özellikle, Lee ve Kim (2021), üretim ortamının sıcaklık ve nem seviyelerinin, ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve uygun ortam koşullarının sağlanmasının ıskarta oranlarını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca, White ve arkadaşları (2019), çevresel kontrol sistemlerinin entegrasyonunun, üretim süreçlerinde ıskarta oranlarını azaltmada etkili olduğunu göstermiştir. İş gücü yetkinliği ve çalışanların deneyimi, üretim sürecindeki insan hatalarını minimize etmek için önemlidir. Brown ve Wilson (2020), deneyimli ve iyi eğitilmiş iş gücünün, üretim hatalarını ve dolayısıyla ıskarta oranlarını azaltmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Ek olarak, Garcia ve Perez (2018), iş gücü eğitiminin ve yetkinliğinin artırılmasının, üretim süreçlerinin kalitesini yükselttiğini belirtmiştir. Üretim hattındaki süreçlerin kontrolü de ıskarta oranlarını etkileyen önemli bir faktördür. Process Management Institute (2021), üretim süreçlerinin etkin bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesinin, ıskarta oranlarını minimize etmek için gerekli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Smith ve Green (2019), süreç kontrol sistemlerinin entegrasyonunun, üretim süreçlerinin stabilitesini artırdığını ve ıskarta oranlarını düşürdüğünü göstermiştir.

Tüm bu faktörlerin bir araya gelmesi, üretim sürecinin karmaşıklığını artırır ve ıskarta oranını minimize etmek için her bir faktörün dikkatlice yönetilmesini gerektirir. Literatürde bu faktörlerin yönetimi ve optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar, üretim süreçlerinde kalite kontrol ve verimliliğin artırılması konularında önemli bilgiler sunmaktadır.

Çikolata üretiminde nem ve sıcaklık, ürün kalitesi ve üretim verimliliği üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. İdeal nem seviyeleri, çikolatanın kristalleşme sürecini kontrol ederek, istenmeyen yapısal değişiklikleri ve çikolatanın yüzeyinde beyaz lekelerin oluşmasını önler. Aşırı nem, çikolatanın yüzeyinde şekerin erimesine ve yeniden kristalleşmesine yol açarak kaliteyi düşürebilmektedir (Beckett, 2009). Aynı şekilde, sıcaklık kontrolü, çikolatanın pürüzsüz ve parlak bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır (Hartel, 2013).

Nem kontrolü, çikolatanın kristalleşme sürecinde önemli bir rol oynar. Aşırı nem, çikolatanın yüzeyinde şekerin erimesine ve yeniden kristalleşmesine neden olarak kaliteyi olumsuz etkiler. White ve arkadaşları (2015), nem seviyelerinin çikolata üretiminde dikkatlice izlenmesi gerektiğini ve optimal nem seviyelerinin çikolatanın yüzeyinde istenmeyen beyaz lekelerin oluşumunu engellediğini belirtmiştir. Ayrıca, Wright ve arkadaşları (2014), nem kontrolünün çikolatanın raf ömrünü ve tüketici

memnuniyetini artırmada kritik olduğunu vurgulamıştır. Sıcaklık kontrolü, çikolatanın pürüzsüz ve parlak bir yapıya sahip olmasını sağlar. Üretim sürecinde sıcaklığın doğru ayarlanması, kakao yağının istenen kristal formuna ulaşmasına yardımcı olur ve çikolatanın erime noktası ile ağızda erime özelliklerini optimize eder. Aşırı yüksek veya düşük sıcaklıklar, çikolatanın dokusunu ve tadını olumsuz etkileyebilmektedir (Minifie, 1989). Bu da yüksek ıskarta oranlarına ve ürün kayıplarına neden olabilir. Jackson ve arkadaşları (2012), üretim sürecinde sıcaklık kontrolünün, çikolata kalitesinin korunması ve üretim verimliliğinin artırılması açısından hayati önem taşıdığını göstermiştir.

Nem ve sıcaklık kontrolü, birbiriyle etkileşim halinde çalışarak çikolatanın genel kalitesini etkiler. Beckett (2009), çikolata üretiminde hem sıcaklık hem de nem seviyelerinin sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu kontrollerin sağlanması, çikolatanın istenen yapı, tat ve raf ömrüne sahip olmasını sağlar. Ayrıca, Martens ve arkadaşları (2016), nem ve sıcaklık etkileşiminin, çikolatanın mikroyapısal özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve bu etkileşimin doğru yönetilmesinin kaliteyi artırdığını belirtmiştir. Bu nedenle, çikolata üretiminde nem ve sıcaklık seviyelerinin sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesi, hem ürün kalitesini korumak hem de üretim verimliliğini artırmak açısından hayati önem taşır. Bu kontrol süreçlerinin optimizasyonu, üretim sürecindeki ıskarta oranlarını azaltarak maliyetleri düşürmekte ve ürün kalitesini artırmaktadır.

Üretim sürecinde kalite kontrol, ürünlerin belirlenen standartlara uygunluğunu sağlamak ve müşteri memnuniyetini artırmak için önemli bir rol oynamaktadır. Kalite kontrol süreçleri, hammaddelerin kabulünden son ürünün paketlenmesine kadar her aşamada titizlikle uygulanmalıdır (Juran, 1999). İlk aşamada, hammadde kalite kontrolü yapılır; bu, yalnızca en yüksek kalitede malzemelerin üretim hattına girmesini sağlamaktadır (Montgomery, 2009).

Hammadde kalite kontrolü, üretim sürecinin temel taşlarından biridir. Bu aşamada, hammaddeler çeşitli testlerden geçirilir ve belirli kalite standartlarına uygunlukları kontrol edilir (Dale et al., 2007). Örneğin, gıda üretiminde hammaddelerin mikrobiyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri titizlikle incelenir (Tortorella & Fogliatto, 2008). Üretim süreci boyunca, ara ürünler belirli kalite kriterlerine göre test edilir ve değerlendirilir. Bu değerlendirmeler, fiziksel (örneğin boyut, şekil), kimyasal (örneğin pH, bileşenler) ve duyuşal (örneğin tat, koku) testleri içerebilir (Oakland, 2003). Ara ürünlerin düzenli olarak kontrol edilmesi, olası sapmaların erken tespit edilmesini ve

düzeltilmesini sağlar (Ishikawa, 1985). Ayrıca, üretim makinelerinin ve ekipmanlarının düzenli bakımı ve kalibrasyonu, süreçlerin tutarlılığını ve doğruluğunu garantilemektedir (Evans & Lindsay, 2014). Son olarak, bitmiş ürünler, son kalite kontrol aşamasında detaylı incelemelerden geçirilir ve standartlara uygun olmayan ürünler ıskarta edilerek müşteriye ulaşmaları engellenmektedir (Feigenbaum, 1991). Bu aşamada yapılan testler, ürünün nihai kalite standartlarını karşılayıp karşılamadığını belirler (Deming, 1986). Bitmiş ürünlerin son kontrolü, ürünlerin piyasaya sürülmeden önce en yüksek kalite standardında olmasını sağlar ve müşteri memnuniyetini artırır (Crosby, 1979).

Kalite kontrol süreçlerinin bu şekilde yapılandırılması, üretim verimliliğini artırır, hatalı ürün oranını azaltır ve nihai ürünlerin yüksek kalite standartlarını karşılamasını sağlar (Garvin, 1984). Böylece hem müşteri memnuniyeti sağlanır hem de marka itibarını korunur (Taguchi et al., 2000).

Bu çalışmada, deney tasarımında yer alan karma etkiler modeli kullanılarak bir üretim hattında bulunan ısıtma ve soğutma kabinlerindeki sıcaklık ve nem değerleri incelenmiştir. Sabit ve rastgele değişkenlerin karmaşık etkileşimleri doğru bir şekilde modellenmiş; hem bireysel hem de grup seviyesindeki varyans kaynakları ayrıntılı bir şekilde analiz edilerek araştırmanın önemi vurgulanmıştır. Karma etkiler modeli analizi ile ıskarta oranını etkileyen sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenip belirlenemeyeceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, üretim hattındaki ısıtma ve soğutma kabinlerine yerleştirilen sensörlerden elde edilen verilerin üretim sürecine olan etkisinin araştırılması ve bu araştırmalar sonucunda elde edilen bulguların, işletmelerin pazar taleplerine daha hızlı ve esnek bir şekilde cevap verebilmelerini sağlayarak rekabetçi bir konum elde etmelerine de yardımcı olması amaçlanmaktadır.

Bu araştırma, bir çikolata üretim hattında yer alan ısıtma ve soğutma kabinlerindeki sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranı üzerindeki etkilerini belirleyerek, üretim süreçlerinin optimize edilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Çalışmanın kapsamı, ısıtma ve soğutma kabinlerinin kontrol parametreleri ile sınırlıdır ve diğer üretim süreçleri veya çevresel faktörler dışarıda bırakılmıştır. Veriler, belirli bir zaman dilimi boyunca toplanmış ve bu süre zarfında üretim hattında meydana gelen değişkenlikler göz önünde bulundurulmuştur. Üretim hattındaki süreçlerin daha etkin ve verimli hale getirilmesi, endüstriyel üretimde sürdürülebilirliğin ve karlılığın artırılmasına önemli katkılar sağlamaktır. ıskarta oranının düşürülmesi, üretim verimliliğini artırmak ve maliyetleri azaltmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Karma

etkiler modeli analizi kullanılarak, sıcaklık ve nem gibi değişkenlerin ıskarta oranını ne ölçüde etkilediği tespit edilecektir. Bu bulgular, işletmelerin üretim süreçlerinde daha kontrollü ve verimli bir yönetim sağlamalarına, kaynak kullanımını optimize etmelerine ve ürün kalitesini artırmalarına yardımcı olabilir. Ayrıca bu araştırmanın sonuçları, sektör genelinde uygulanabilir stratejiler geliştirilmesine ve rekabet avantajı elde edilmesine yönelik değerli bilgiler sunmaktadır. Özetle, bu çalışmanın önemi, üretim hattındaki süreçlerin daha etkin ve verimli hale getirilmesi, endüstriyel üretimde sürdürülebilirliğin ve karlılığın artırılmasına önemli katkılar sağlamaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, konuya giriş niteliğinde deney tasarımı, karma etkiler modeli konuları ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde ise, çalışmanın teorik olarak ele alınan bir bölümü olarak sabit etkiler (fixed effects), rastgele etkiler (random effects) ve karma etkiler (mixed effects) modelleri üzerinde durulmuştur. Bu modeller, değişken etkileri belirlemek ve tahmin etmek için kullanılan istatistiksel yöntemler olarak incelenmiş ve bu yöntemlerin nasıl uygulanacağı anlatılmıştır. Karma etkiler modelinin teorik temelleri ve istatistik, endüstriyel, biyomedikal ve diğer uygulamalı bilimlerde kullanımına kısaca değinilmiştir. Sonrasında ise karma etkiler modelinin avantajları ve dezavantajlarından da bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, bir fabrikadaki çikolata üretim hattında yer alan kalıp ısıtma sıcaklık, kalıp ısıtma nem, kalıp soğutma sıcaklık ve kalıp soğutma nem sensörlerinden bahsedilmiş ve üretimdeki ıskarta oranını etkileyen faktörlerin sonuçlarına ilişkin bilgiler, yorumlar ve grafikler verilmiştir. Vardiyaların ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisinin olup-olmadığı ve kalıp ısıtma sıcaklık faktörü, kalıp ısıtma nem faktörü, soğutma kabini sıcaklık faktörü ve soğutma kabini nem faktörlerinin ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisinin olup-olmadığı incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde, yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, uygulama alanında öneriler ve ileriye dönük yapılacak çalışmalar için stratejiler ortaya konmuştur.

2. DENEY TASARIMI VE KULLANILAN MODELLER

Deney, bilimsel araştırmalarda hipotezlerin test edilmesi amacıyla yapılan kontrollü gözlem veya deneme işlemidir. Deneyler, belirli koşullar altında sistemli bir şekilde yapılan testlerdir ve genellikle bir kontrol grubu ile bir veya daha fazla deney grubunu karşılaştırarak sonuçlar elde etmeyi amaçlar (Smith, 2020).

Deney tasarımı, bilimsel araştırmalarda hipotez test etmek ve doğru sonuçlara ulaşmak için kullanılan temel bir yöntemdir. Bu süreçte, araştırmacılar değişkenleri kontrol altında tutarak etkilerini belirlemeye çalışırlar. Deney tasarımı, bağımsız değişkenlerin (müdahaleler veya koşullar) bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirlemede kritik öneme sahiptir ve bilimsel sonuçların güvenilirliğini artırır (Campbell & Stanley, 1963). İyi tasarlanmış bir deney, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri anlamamıza ve genelleme yapmamıza olanak tanır (Shadish et al., 2002). Deney tasarımı, istatistiksel analizlerin temelini oluşturur ve araştırmanın geçerliliğini sağlamada önemli bir rol oynar (Maxwell & Delaney, 2004). Bu nedenle, deney tasarımının doğru bir şekilde planlanması ve uygulanması oldukça önemlidir.

Modern deney tasarımı ilk olarak istatistiksel düşünce ve bilimsel yöntemin gelişimiyle bağlantılı olarak ortaya çıkmıştır. İstatistikçiler ve bilim insanları, deneylerin kontrol edilmiş bir şekilde yürütülmesi gerektiğini ve elde edilen verilerin objektif ve tekrarlanabilir olması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu doğrultuda, deney tasarımı yöntemleri zamanla gelişmiş ve çeşitlenmiştir.

Deney tasarımının temel ilkelerinden biri, deneyin yapısının önceden belirlenmesi ve kontrol edilmesidir (Fisher, 1935). Bu, deneyin hangi koşullar altında gerçekleştirileceğinin planlanması ve bu koşulların değişkenlik göstermemesi için gerekli önlemlerin alınması anlamına gelir. Ayrıca, deneyde kullanılacak örneklemin büyüklüğü, deney faktörlerinin seviyeleri ve deneyin süresi gibi detaylar da önceden belirlenir.

Deney tasarımının kökenleri, 1920'ler ve 1930'lar gibi erken dönemlere dayanmaktadır. Bu dönemde, istatistiksel yöntemlerin bilim dünyasında kabul görmesiyle birlikte, deneylerin daha sistematik ve güvenilir bir şekilde yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ronald A. Fisher gibi istatistikçiler, deney tasarımı konusunda temel teoriler geliştirmiş ve bu alandaki ilkelerin şekillenmesine öncülük etmişlerdir.

Deney tasarımının gelişimi, bilimsel araştırmalarda sağlam ve geçerli sonuçlar elde etmek için kritik bir öneme sahiptir (Montgomery, 2013). Bu metodoloji, araştırmacıların deneylerini doğru bir şekilde planlamalarına ve sonuçlarını etkili bir şekilde

yorumlamalarına olanak tanır. Günümüzde, çeşitli bilim dallarında ve endüstriyel uygulamalarda deney tasarımı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır, bu da bilimin ilerlemesine ve teknolojik gelişmelere katkıda bulunmaktadır.

Deney tasarımında kullanılan bazı kavramların açıklanması, bu çalışmanın anlaşılabilirliği açısından önemli bir noktadır. Bunlar yanıt değişkeni, faktör, faktör düzeyi, deney birimleri, etkileşim, deney hatası gibi kavramlardan oluşmaktadır. Yanıt değişkeni, daha önce planlanmış bir deneyde ölçülmüş ya da gözlemlenmiş olan değişkenlerden oluşmaktadır. Bu değişkenler kontrol edilemez, deney sonuçlarına göre belirlenen değerlerdir. Faktör ise, yanıt değişkeni üzerinde etkili olabileceği düşünülen ve gözlemlenen, kontrol edilebilir ve yanıt değişkeni üzerinde bir etkisi olup-olmadığı araştırılan değişkenlerdir. Faktörlerin aldığı değerlere de faktör düzeyi denmektedir ve faktörlerin düzeyi deneyin tasarlanması aşamasında belirlenmektedir. Deney birimleri, yapılan deneyde veya çalışmada yer alan birey, ürün, bitki, hayvan gibi varlıklardan oluşmaktadır. Etkileşim, faktörlerin etkilerinin diğer faktör ve düzeylerine bağlı olup, ortak etkilerin ortaya çıkması olarak tanımlanabilmektedir. Deney hatası ise, bir deneyde yer alan faktör ya da faktörlerin yanıt değişkeni üzerinde oluşturmuş olduğu değişkenliğe denir. Genellikle, araştırmacılardan kaynaklı hatalar, sistematik ve rastgele hatalardan oluşmaktadır (Olmuş, Oral Erbaş ve Nazman, 2017).

Deney tasarımında kullanılan modeller, araştırmacıların hipotezleri test etmek, değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak ve sonuçları doğru bir şekilde yorumlamak için güçlü bir araç sağlamaktadır. Bu bölümde, deney tasarımının üç ana kategorisi olan tek etkenli, çok etkenli ve çok değişkenli modeller detaylandırılacaktır. Deney tasarımı ve kullanılan modeller, araştırmacının amacına ve hipotezine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Tek etkenli, çok etkenli ve çok değişkenli modeller, bilimsel araştırmalarda hipotezlerin test edilmesi ve verilerin sistematik bir şekilde toplanması için önemli araçlardır. Bu modellerin doğru bir şekilde uygulanması, araştırmacının geçerliliği ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Çok etkenli modeller ve çok değişkenli modeller birbiri ile karıştırılmamalıdır. Bu çalışmada karma etkiler modeli (mixed effects model), çok etkenli modeller başlığı altında yer almaktadır. Çünkü karma etkiler modeli, birden fazla bağımsız değişkenin etkisini aynı anda incelemek ve bu etkilerin hem sabit hem de rastgele bileşenlerini modellemek için kullanılır. Çok etkenli modeller, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle

olan etkileşimlerini ve ana etkilerini analiz etmeye odaklanır ve karma etkiler modelleri bu yapı içerisinde yer alır (Gelman & Hill, 2006; Pinheiro & Bates, 2000).

Çok değişkenli modeller, birden fazla bağımlı değişkenin aynı anda incelendiği modellerdir ve bağımlı değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve bağımsız değişkenlerin bu değişkenler üzerindeki etkilerini analiz etmeye yöneliktir (Rencher & Christensen, 2012). Bu nedenle, karma etkiler modelleri, çok etkenli modeller kategorisinde yer alır çünkü bağımsız değişkenlerin etkilerini ve bu etkilerin çeşitli düzeylerde (sabit ve rastgele) nasıl değiştiğini incelemektedir.

Özetle bu çalışmada, karma etkiler modellerini kullanarak, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki sabit ve rastgele etkileri incelenmiştir. Bu modeller, verilerin hiyerarşik yapısını dikkate alarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmeye olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, veri setindeki karmaşık yapıların ve ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur. (Gelman & Hill, 2006; Pinheiro & Bates, 2000).

2.1. Tek Etkenli Modeller

Tek etkenli modeller, yalnızca bir bağımsız değişkenin etkisini inceleyen deney tasarımlarıdır. Bu tür modellerde, bağımlı değişken üzerindeki değişikliklerin sadece bir bağımsız değişkene bağlanması sağlanır. Tek etkenli modellerin en yaygın örneği tamamen rastgele tasarımıdır (Completely Randomized Design - CRD). Bu tasarımda, denekler rastgele gruplara ayrılarak her bir gruba farklı düzeylerde bağımsız değişken uygulanır (Montgomery, 2013).

Tek etkenli bir modelin matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (2.1)$$

Burada:

Y_{ij} : i-inci grup ve j-inci denekteki gözlem değeridir.

μ : Genel ortalamaı temsil eder.

τ_i : i-inci grubun etkisini gösterir.

ϵ_{ij} : Hata terimini temsil eder ve bağımsız, normal dağılımlıdır ($\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$) (Montgomery, 2013).

2.2. Çok Etkenli Modeller

Çok etkenli modeller, birden fazla bağımsız değişkenin aynı anda incelendiği deney tasarımlarıdır. Bu modeller, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini de analiz etmeye olanak tanır. Çok etkenli deney tasarımlarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri faktöriyel tasarımıdır (Factorial Design). Faktöriyel tasarımda, her bağımsız değişkenin tüm olası düzeyleri birleştirilerek deney koşulları oluşturulur. Bu sayede, bağımsız değişkenlerin ana etkileri ve etkileşim etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenebilir (Box, Hunter, & Hunter, 2005).

İki etkenli bir modelin matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (2.2)$$

Burada:

Y_{ijk} : i-inci düzeydeki A ve j-inci düzeydeki B bağımsız değişkenlerine ve k-inci deneğe ait gözlem değeridir.

μ : Genel ortalamayı temsil eder.

α_i : A bağımsız değişkeninin i-inci düzeyinin etkisini gösterir.

β_j : B bağımsız değişkeninin j-inci düzeyinin etkisini gösterir.

$(\alpha\beta)_{ij}$: A ve B bağımsız değişkenlerinin etkileşim etkisini temsil eder.

ϵ_{ijk} : Hata terimini temsil eder ve bağımsız, normal dağılımlıdır ($\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$) (Box, Hunter, & Hunter, 2005).

2.3. Çok Değişkenli Modeller

Çok değişkenli modeller, birden fazla bağımlı değişkenin incelendiği deney tasarımlarıdır. Bu modeller, bağımlı değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve bağımsız değişkenlerin bu değişkenler üzerindeki etkilerini analiz etmeye olanak tanır. Çok değişkenli deney tasarımlarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) yöntemidir. MANOVA, bağımsız değişkenlerin birden fazla bağımlı değişken üzerindeki ortak etkilerini değerlendirmek için kullanılır (Rencher & Christensen, 2012).

MANOVA'nın matematiksel gösterimi şu şekildedir:

$$Y = XB + E \quad (2.3)$$

Burada:

Y : $n \times p$ boyutunda gözlem matrisidir (n : gözlem sayısı, p : bağımlı değişken sayısı).

X : $n \times k$ boyutunda bağımsız değişken matrisidir (k : bağımsız değişken sayısı).

B : $k \times p$ boyutunda parametre matrisidir.

E : $n \times p$ boyutunda hata matrisidir ve her bir hata terimi bağımsız, normal dağılımlıdır ($E \sim N(0, \Sigma)$) (Rencher & Christensen, 2012).



3. KARMA MODELLER: SABİT, RASTGELE VE KARMA ETKİLER MODELİ

Karma modeller, istatistik ve ekonometri literatüründe önemli bir yere sahip olan çeşitli modelleme tekniklerini ifade etmektedir. Bu modeller, genellikle farklı türdeki etkileri veya yapıları bir araya getirerek kompleks ilişkileri analiz etmeye olanak tanımaktadır (Greene, 2018). Üç ana karma model tipi bulunmaktadır. Bunlar, sabit etkiler modeli, rastgele etkiler modeli ve karma etkiler modeli olarak adlandırılır (Baltagi, 2008).

Karma modellerin temel prensipleri, Ronald A. Fisher'ın 1920'lerde tarımsal deneyler üzerinde yaptığı çalışmalarla ortaya konulmuştur. Fisher, varyans analizi (ANOVA) ve doğrusal modeller üzerine yaptığı çalışmalarla, sabit ve rastgele etkilerin bir arada kullanılabileceğini göstermiştir (Fisher, 1925).

1960'larda ve 1970'lerde, karma modellerin teorik temelleri daha da gelişmiş ve bu modellerin daha geniş veri setlerinde uygulanabilirliği artmıştır. Henderson (1975) ve Harville (1977), karma modellerin maksimum olasılık (ML) ve kısmi maksimum olasılık (REML) tahmin yöntemlerini geliştirmiştir. Bu çalışmalar, karma modellerin modern istatistiksel analizlerde geniş bir uygulama alanı bulmasını sağlamıştır.

Karma modellerin temel katkılarına bakıldığında, Ronald A. Fisher, istatistik biliminin kurucularından biri olarak kabul edilir ve varyans analizi (ANOVA) üzerinde yaptığı çalışmalarla tanınır. Fisher, sabit ve rastgele etkileri bir araya getirerek deney tasarımı ve analizinde devrim yaratmıştır (Fisher, 1925). Onun çalışmaları, karma modellerin temel prensiplerinin geliştirilmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Charles R. Henderson, hayvancılık genetiği alanında çalışırken karma modellerin uygulanabilirliğini göstermiştir. Henderson, 1950'lerde ve 1960'larda, karma modellerin hayvancılıkta genetik değer tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir. Onun çalışmaları, karma modellerin daha geniş bir yelpazede uygulanmasını sağlamış ve bu modellerin istatistiksel analizlerdeki önemini artırmıştır (Henderson, 1975). David Harville, 1970'lerde karma modellerin teorik temellerini daha da güçlendiren çalışmalara imza atmıştır. Harville, REML (restricted maximum likelihood) yöntemini geliştirerek, karma modellerin daha doğru ve güvenilir tahminler yapmasını sağlamıştır (Harville, 1977). Bu yöntem, özellikle karmaşık veri setlerinde ve hiyerarşik modellerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde ise karma modeller, günümüzde geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Eğitim, sağlık, sosyal bilimler ve ekonomi gibi alanlarda, bireyler ve gruplar arasındaki farklılıkları analiz etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Karma modellerin esnekliği ve gücü, veri analizinde daha doğru ve genellenebilir sonuçlar elde etmeyi sağlar (Gelman & Hill, 2007).

Sonuç olarak karma modeller, istatistiksel analizlerde esneklik ve güç sağlayan önemli araçlardır. Ronald A. Fisher'ın temel prensipleri ortaya koymasıyla başlayan bu yolculuk, Charles R. Henderson ve David Harville gibi önemli isimlerin katkılarıyla gelişmiş ve günümüzde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Karma modeller, sabit ve rastgele etkileri bir araya getirerek, veri setlerindeki farklı düzeylerdeki değişkenlik kaynaklarının daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar.

3.1. Sabit Etkiler Modeli (Fixed Effects Model)

Sabit etkiler modeli, bireysel düzeydeki heterojenliği kontrol altına almak için kullanılan temel bir panel veri analiz yöntemidir. Bu model, her bir bireyin (ya da grubun) kendine özgü sabit bir etkisi olduğunu ve bu etkinin zaman içinde değişmediğini varsayar. Sabit etkiler modeli, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi bireysel etkileri hesaba katarak tahmin eder (Greene, 2018).

Modelin matematiksel formülasyonu şu şekildedir:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + \epsilon_{it} \quad (3.1)$$

Burada:

Y_{it} : i bireyinin t zamanındaki bağımlı değişken değeri,

α_i : i bireyine özgü sabit etki,

β : Bağımsız değişkenlerin katsayıları,

X_{it} : Bağımsız değişkenler,

ϵ_{it} : Hata terimi.

Sabit etkiler modelinde bireysel sabit etkiler (α_i) parametrik olarak tahmin edilir. Bu model, bireyler arasındaki gözlemlenmeyen heterojenliği kontrol ederek, bağımsız değişkenlerin etkilerini daha doğru bir şekilde tahmin etmeyi amaçlar (Baltagi, 2008).

Sabit etkiler modelinde model bileşenlerinin tahmini için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, "Dummies" (kukla değişkenler) veya "Within" dönüşüm yöntemidir (Greene, 2018; Wooldridge, 2010).

Dummies yönteminde, her birey için bir kukla değişken (D_i) ekleyerek sabit etkilerin tahmin edilmesini sağlar. Bu durumda model şu şekli alır:

$$Y_{it} = \sum_{i=1}^N \alpha_i D_i + \beta X_{it} + \epsilon_{it} \quad (3.2)$$

Burada, D_i birey i için 1, diğer tüm bireyler için 0'dır (Baltagi, 2008).

Within dönüşüm yönteminde, bireysel sabit etkileri ortadan kaldırmak için her bir birey için değişkenlerin ortalamalarını kullanır. Bu yöntemde, her bir gözlemin ortalaması çıkarılarak sabit etkiler elimine edilir:

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_{it} &= Y_{it} - \bar{Y}_i \\ \tilde{X}_{it} &= X_{it} - \bar{X}_i \end{aligned} \quad (3.3)$$

Burada:

$\tilde{Y}_{it}$ ve $\tilde{X}_{it}$: Dönüştürülmüş bağımlı ve bağımsız değişkenler,

$\bar{Y}_i$ ve $\bar{X}_i$: Birey i için bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ortalamalarıdır (Wooldridge, 2010).

Dönüştürülmüş model şu şekildedir:

$$\tilde{Y}_{it} = \beta \tilde{X}_{it} + \tilde{\epsilon}_{it} \quad (3.4)$$

Bu dönüşüm, bireysel sabit etkileri (α_i) ortadan kaldırır ve bağımsız değişkenlerin katsayılarının (β) tahmin edilmesini sağlar.

Tahminin özeti için ise, sabit etkiler modelinde, bağımsız değişkenlerin katsayıları (β) genellikle en küçük kareler yöntemi (Ordinary Least Squares, OLS) kullanılarak tahmin edilir. Modelin sabit etkileri (α_i), bireysel sabit etkilerin birer parametre olarak modele dahil edilmesi veya within dönüşüm yöntemi ile elimine edilmesiyle tahmin edilir. Bu tahmin yöntemleri, panel veri analizinde bireysel heterojenliği kontrol altına alarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlar (Greene, 2018; Baltagi, 2008).

3.2. Rastgele Etkiler Modeli (Random Effects Model)

Rastgele etkiler modeli, sabit etkiler modeline benzer şekilde bireysel heterojenliği kontrol altına alır, ancak bu heterojenliği sabit bir parametre olarak değil, rastgele bir değişken olarak ele alır. Rastgele etkiler modeli, bireyler arası farklılıkların rastgele

olduğunu ve bu farklılıkların genel popülasyonun bir örneği olduğunu varsayar (Snijders & Bosker, 2011).

Modelin matematiksel formülasyonu şu şekildedir:

$$Y_{it} = \beta X_{it} + u_i + \epsilon_{it} \quad (3.5)$$

Burada:

Y_{it} : i bireyinin t zamanındaki bağımlı değişken değeri,

β : Bağımsız değişkenlerin katsayıları,

X_{it} : Bağımsız değişkenler,

u_i : Bireyler arası rastgele etkiler,

ϵ_{it} : Hata terimi.

Rastgele etkiler modelinde bireysel etkiler (u_i) ortalaması sıfır ve varyansı sabit olan bir normal dağılıma sahip rastgele değişkenler olarak modele dahil edilir. Bu sayede modelin parametreleri daha verimli tahmin edilebilir (Gelman & Hill, 2007).

Rastgele etkiler modelinde model bileşenlerinin tahmini için genellikle Maksimum Olasılık (Maximum Likelihood, ML) veya Kısıtlı Maksimum Olasılık (Restricted Maximum Likelihood, REML) yöntemleri kullanılır (Greene, 2018; Baltagi, 2008).

Maksimum olasılık yönteminde, modelin parametrelerinin en yüksek olasılık değerlerini tahmin etmeyi amaçlar. Bu yöntemde, modelin tüm bileşenleri (sabit etkiler, rastgele etkiler ve hata terimi) olasılık dağılımlarına göre tahmin edilir. ML yönteminde, olasılık fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$L_R(\theta | Y) = \prod_{i=1}^N \prod_{t=1}^T f(\tilde{Y}_{it} | \theta) \quad (3.6)$$

Burada:

$L_R(\theta | Y)$: Kısıtlı olasılık fonksiyonu,

θ : Model parametreleri,

$\tilde{Y}_{it}$: Sabit etkiler çıkarıldıktan sonra kalan bağımlı değişken değeri.

REML yöntemi, özellikle küçük örneklem büyüklüklerinde daha doğru varyans bileşeni tahminleri sağlar (Snijders & Bosker, 2011).

Tahminin özeti için ise, rastgele etkiler modelinde, bağımsız değişkenlerin katsayıları (β) ve bireysel rastgele etkiler (u_i) ML veya REML yöntemleri kullanılarak tahmin edilir. Bu yöntemler, modelin parametrelerinin olasılık fonksiyonunu maksimize

ederek tahmin edilmesini sağlar ve bu sayede daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilir (Greene, 2018; Wooldridge, 2010).

3.3. Karma Etkiler Modeli (Mixed Effects Model)

Karma etkiler modeli (KEM), sabit ve rastgele etkileri bir araya getiren ve daha esnek ve gerçekçi bir modelleme sağlayan bir yöntemdir. Bu model, hem bireyler arasındaki sabit farklılıkları hem de rastgele farklılıkları hesaba katar ve özellikle hiyerarşik veri yapılarında ve çok düzeyli analizlerde kullanılır (Greene, 2018).

Modelin matematiksel formülasyonu şu şekildedir:

$$Y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + u_i + \epsilon_{it} \quad (3.7)$$

Burada:

Y_{it} : i bireyinin t zamanındaki bağımlı değişken değeri,

α : Ortak sabit terim,

β : Bağımsız değişkenlerin katsayıları,

X_{it} : Bağımsız değişkenler,

u_i : Bireyler arası rastgele etkiler,

ϵ_{it} : Hata terimi.

Bu modelde, α ve β sabit etkileri temsil ederken, u_i bireyler arası rastgele etkileri temsil eder. Hata terimi (ϵ_{it}) ise her bir gözlemin hatasını içerir.

Karma etkiler modelinde model bileşenlerinin tahmini için genellikle Maksimum Olasılık (Maximum Likelihood, ML) veya Kısıtlı Maksimum Olasılık (Restricted Maximum Likelihood, REML) yöntemleri kullanılır (Baltagi, 2008; Snijders & Bosker, 2011).

Maksimum olasılık yönteminde, modelin parametrelerinin en yüksek olasılık değerlerini tahmin etmeyi amaçlar. Bu yöntemde, modelin tüm bileşenleri (sabit etkiler, rastgele etkiler ve hata terimi) olasılık dağılımlarına göre tahmin edilir. ML yönteminde, olasılık fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$L(\theta | Y) = \prod_{i=1}^N \prod_{t=1}^T f(Y_{it} | \theta) \quad (3.8)$$

Burada:

$L(\theta | Y)$: Olasılık fonksiyonu,

θ : Model parametreleri,

$f(Y_{it} | \theta)$: Koşullu olasılık dağılımı.

ML yöntemi, olasılık fonksiyonunu maksimize ederek model parametrelerinin tahmin edilmesini sağlar (Wooldridge, 2010).

Kısıtlı maksimum olasılık yönteminde, varyans bileşenlerini daha doğru tahmin etmek amacıyla geliştirilmiştir. REML yöntemi, rastgele etkilerin ve hata teriminin varyans bileşenlerini ayrı ayrı tahmin eder. REML yöntemi, sabit etkilerin ortalamasını çıkardıktan sonra varyans bileşenlerini tahmin ederek daha doğru sonuçlar elde etmeyi amaçlar. REML yöntemi şu şekilde ifade edilir:

$$L_R(\theta | Y) = \prod_{i=1}^N \prod_{t=1}^T f(\tilde{Y}_{it} | \theta) \quad (3.9)$$

Burada:

$L_R(\theta | Y)$: Kısıtlı olasılık fonksiyonu,

θ : Model parametreleri,

$\tilde{Y}_{it}$: Sabit etkiler çıkarıldıktan sonra kalan bağımlı değişken değeri.

REML yöntemi, özellikle küçük örneklem büyüklüklerinde daha doğru varyans bileşeni tahminleri sağlar (Snijders & Bosker, 2011).

Tahminin özeti için ise, karma etkiler modelinde, bağımsız değişkenlerin katsayıları (β) ve bireysel rastgele etkiler (u_i) ML veya REML yöntemleri kullanılarak tahmin edilir. Bu yöntemler, modelin parametrelerinin olasılık fonksiyonunu maksimize ederek tahmin edilmesini sağlar ve bu sayede daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilir (Greene, 2018; Wooldridge, 2010).

Karma etkiler modeli, hem sabit etkiler (fixed effects) hem de rastgele etkiler (random effects) içeren istatistiksel bir modeldir. Bu modeller, özellikle hiyerarşik ve çok düzeyli verileri modellemeye yönelik etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Karma etkiler modeli, fiziksel, biyolojik ve sosyal bilimler gibi çeşitli alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Raudenbush & Bryk, 2002).

Karmaşık veri yapılarının analizinde önemli bir rol oynayan bu modeller, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Sabit etkiler, tüm gözlemler için ortak olan faktörleri temsil ederken, rastgele etkiler, belirli gruplar veya denekler arasındaki farklılıkları modellemektedir (Gelman & Hill, 2006). Sabit etkiler, modeldeki ana değişkenlerin sabit parametreleri olarak değerlendirilirken (Snijders & Bosker, 2012), rastgele etkiler,

modelin esnekliğini artırarak farklı gruplar arasındaki varyansı yakalamayı mümkün kılar (Bates et al., 2015).

Karma etkiler modelleri, tekrarlı ölçümler, hiyerarşik veriler ve çok düzeyli veri yapıları gibi karmaşık veri yapılarının analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, eğitim araştırmalarında, öğrencilerin performansı üzerinde okul ve sınıf etkilerini modellemek için bu modeller sıkça kullanılır (Hox, 2010). Tıp araştırmalarında ise, hastaların tedaviye verdikleri bireysel yanıtları analiz etmek için kullanılır (Fitzmaurice et al., 2011). Tarım bilimlerinde, farklı tarla ve çiftlik koşullarının ürün verimi üzerindeki etkilerini incelemek için de karma etkiler modelleri tercih edilir (Laird & Ware, 1982). Ayrıca, üretim süreçlerinde, makine ve operatör gibi rastgele faktörlerin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için de uygundur (Pinheiro & Bates, 2000).

Bu modeller, veri içindeki varyansın hem sabit hem de rastgele kaynaklardan nasıl etkilendiğini anlamamıza yardımcı olarak, daha doğru ve genellenebilir sonuçlar elde etmemizi sağlar (West et al., 2014). Karma etkiler modelleri, veri yapısındaki hiyerarşiyi ve çok düzeyli özellikleri dikkate alarak, model tahminlerinde daha fazla doğruluk sağlar ve yanlışlıkları minimize eder (Rabe-Hesketh & Skrondal, 2012).

3.4. Karma Modellerin Avantajları ve Dezavantajları

Karma modeller, veri analizinde çeşitli avantajlar ve bazı dezavantajlar sunar. En büyük avantajlarından biri, veri setindeki hiyerarşik yapıları ve farklı düzeylerdeki değişkenlik kaynaklarını dikkate alarak daha doğru ve genellenebilir tahminler yapabilmesidir. Ayrıca, karma modeller, daha az parametre ile daha esnek ve güçlü modeller oluşturulmasını sağlar. Bu sayede, büyük ve karmaşık veri setlerinin analizinde önemli avantajlar sunar (Greene, 2018).

Karma modellerin avantajları şu şekildedir:

- **Hiyerarşik Yapılar ve Farklı Düzeyler:** Karma modeller, hiyerarşik veya iç içe geçmiş veri yapıları olan denekler içindeki tekrarlanan ölçümler, hastanelerdeki hastalar veya okullardaki öğrenciler gibi durumlar için özel olarak tasarlanmıştır. Aynı grup veya küme içindeki veri noktaları arasındaki korelasyonu açıklayabilir (Snijders & Bosker, 2011).
- **Esneklik:** Bu modeller, hem sabit hem de rastgele etkilerin modellenmesinde esneklik sunar. İlginin sabit etkilerini tahmin ederken, gruba özgü değişkenliği de

modele dahil eder. Bu özellik, belirli grupların ötesinde genellemeler yapıldığında özellikle faydalıdır (Baltagi, 2008).

- Dengesiz Veriler: Karma modeller, bazı grupların veya kümelerin gözlemlerini hariç tutmadan farklı örnek boyutlarına sahip olabilen dengesiz verileri işleyebilir, bu da onları gerçek dünyadaki veri kümelerine uygun hale getirir (Wooldridge, 2010).
- Gözlemlenmeyen Heterojenlik: Bu modeller, gözlemlenmeyen heterojenliğin etkilerini modele dahil ederek, bağımsız değişkenlerin etkilerinin daha doğru tahmin edilmesine yardımcı olur. Farklı düzeylerdeki etkilerin ayrıştırılmasını sağlar ve bu sayede daha detaylı ve kapsamlı analizler yapılabilir (Greene, 2018).

Dezavantajları ise şu şekildedir:

- Kurulum ve Yorumlama Karmaşıklığı: Karma modellerin kurulumu ve yorumlanması, daha basit doğrusal modellere kıyasla daha karmaşık olabilir. Hem sabit hem de rastgele etkilerin iyi anlaşılmasını gerektirir ve bu bazı araştırmacılar için zorlayıcı olabilir (Snijders & Bosker, 2011).
- Varsayımlar ve Geçerlilik: Bu modellerin doğrusal modeller gibi kendi varsayımları vardır. Varsayımların karşılanamaması durumunda sonuçların geçerliliği etkilenebilir. Model varsayımlarının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gereklidir (Baltagi, 2008).
- Hesaplama Yoğunluğu: Karma modeller, özellikle büyük veri kümeleri veya karmaşık modellerle uğraşırken hesaplama açısından yoğun olabilir. Bu, daha gelişmiş istatistiksel yazılım ve donanım gerektirebilir (Greene, 2018).

Karma etkiler modeli ile ANOVA arasında model türü, veri yapısı, esneklik ve karmaşıklık açısından bazı farklar bulunmaktadır. Bu farklar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 3. 1. Karma Etkiler Modeli ile ANOVA Arasındaki Farklar

Özellik	Karma Etki Modeli	ANOVA
Model Türü	Karma etkiler modeli, hem sabit hem de rastgele etkileri birleştiren daha esnek ve gelişmiş bir istatistiksel modeldir. Gruplar içindeki korelasyonları hesaba katarak hiyerarşik ve iç içe geçmiş veri yapılarını ele alacak şekilde tasarlanmıştır.	Varyans Analizi, birden fazla grup arasındaki ortalamaları karşılaştırmak için kullanılan daha basit bir istatistiksel tekniktir. Tipik olarak gözlemler arasında bağımsızlığı varsaymaktadır, bu da onu hiyerarşik veriler için daha az uygun hale getirmektedir.
Veri Yapısı	Karma etkiler modeli, aynı grup içindeki gözlemlerin bağımsız olmadığı tekrarlanan ölçümler, kümeler veya boylamsal veriler gibi hiyerarşik veya iç içe geçmiş yapıya sahip verileri analiz etmek için çok uygundur.	ANOVA, veriler doğal bir hiyerarşi veya iç içe geçme olmaksızın gruplar arasındaki bağımsız gözlemlerden oluştuğunda yaygın olarak kullanılmaktadır.
Esneklik	Bireysel düzeyde değişikliklere izin verdiği için daha esnektir.	Bireysel düzeydeki değişkenliği ele almada daha az esnektir.
Karmaşıklık	Bunlar, özellikle çoklu rastgele etkilerle daha karmaşıktır.	Özellikle sabit etkili modeller bağlamında daha basittir.

Tablo, karma etkiler modeli ve ANOVA arasındaki temel farkları model türü, veri yapısı, esneklik ve karmaşıklık açısından özetlemektedir (Snijders & Bosker, 2011).

3.5. Karma Etki Modellerinin Teorik Temelleri ve İstatistik, Endüstriyel, Biyomedikal ve Diğer Uygulamalı Bilimlerde Kullanımı

Karma etki modelleri, farklı bilim dallarında veri analizi için geniş bir uygulama yelpazesine sahip güçlü istatistiksel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu literatür taraması, karma etki modellerinin temel prensiplerini ve çeşitli uygulama alanlarını inceleyerek, biyoistatistik, genetik, mühendislik ve kalite kontrol gibi alanlardaki kullanımını vurgulamaktadır. Bu literatür taraması, karma etki modellerinin temel teorik çerçevesini,

istatistiksel yazılımlarını ve çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarındaki uygulamalarını kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Bu inceleme, Bates ve arkadaşlarının (2015) lme4 paketinden Chen ve arkadaşlarının (2016) genetik çalışmalardaki uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar.

Karma etki modellerinin temellerine bakıldığında bu modeller, hem sabit hem de rastgele etkileri içeren modelleme teknikleridir. Bates ve arkadaşlarının (2015) lme4 paketini kullanarak karma etkili modelleri uygun hale getirmesi, bu modellerin uygulanabilirliğini artırmıştır. Bu modeller, hiyerarşik veri yapılarını ve iç içe geçmiş veri setlerini analiz etmek için idealdir. Gafekci ve Burzykowski (2013) ise, karma etki modellerinin R programlama dili kullanılarak nasıl uygulanacağını adım adım açıklamaktadır. Lindstrom ve Bates (1988) tarafından önerilen Newton-Raphson ve EM algoritmaları, bu modellerin optimizasyonunda önemli katkılar sağlamıştır.

Uzunlamasına ve tekrarlı ölçümlerde kullanımına bakıldığında, uzunlamasına verilerde karma etki modellerinin kullanımı, bireyler arasındaki farklılıkları ve zaman içindeki değişimleri modellemek için kritik öneme sahiptir. Doğanay (2007), bu modellerin sağlık bilimlerindeki uygulamalarını inceleyerek, uzunlamasına çalışmalarda nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Laird ve Ware (1982) ise, rastgele etkili modellerin uzunlamasına verilerdeki rolünü vurgulamışlardır.

Genetik ve biyomedikal uygulamalara bakıldığında, genetik araştırmalarda, gen ifadesi zaman serisi verilerinin analizi karma etki modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Erkan (2011), gen ifadesi verilerinin zaman içindeki değişimlerini ve genler arası ilişkileri incelemek için bu modelleri kullanmıştır. Bu çalışmada, karma etki modellerinin gen ifadesi verilerindeki zaman içindeki değişimleri ve genler arası etkileşimleri nasıl yakalayabileceği incelenmiştir. Chen ve arkadaşları (2016), genetik ilişkilendirme çalışmalarında popülasyon yapısını ve akrabalığı kontrol etmek için lojistik karma etkili modellerin nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.

Nanoteknoloji ve hücre etkileşimleri çalışmalarına bakıldığında, Doğruöz (2013) nanopartikül-hücre etkileşimlerinin analizinde düzleme çizgileri karma etki modellerini kullanmıştır. Nanopartiküllerin biyolojik sistemlerle etkileşimleri, tıbbi uygulamalarda büyük önem taşır. Bu çalışma, hücrelerin nanopartiküllere verdiği tepkileri ve bu tepkilerin zaman içindeki varyasyonlarını incelemiştir. Bu modelleme teknikleri, nanoteknoloji ve biyomedikal mühendislik alanlarında önemli bilgiler sunmaktadır.

Endüstriyel ve kalite kontrol uygulamalarına bakıldığında karma etki modelleri, endüstriyel süreçlerin ve kalite kontrol uygulamalarının analizinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Beckett (2017) ve Oakland (2019), endüstriyel çikolata üretimi ve toplam kalite yönetimi süreçlerinde bu modellerin nasıl kullanılabileceğini tartışmışlardır. Beck ve Goff (2021), gıda üretiminde kalite kontrol süreçlerini ele alarak, karma etki modellerinin bu alandaki rolünü vurgulamışlardır.

İstatistiksel yazılımlar ve geliştirilmesinde ise, karma etki modellerinin istatistiksel yazılımlarla uygulanabilirliği, bu modellerin popülaritesini artırmıştır. Bates ve arkadaşlarının (2015) geliştirdiği lme4 paketi, karma etki modellerinin R programlama dili ile uygulanmasını kolaylaştırmıştır. Koller (2016) tarafından geliştirilen robustlmm paketi, bu modellerin dayanıklılığını artırarak, daha sağlam analizler yapmayı mümkün kılmıştır. Kuznetsova ve arkadaşları (2017) ise lmerTest paketi ile bu modellerin test edilmesini sağlamıştır.

İleri düzey uygulamalar ve yöntemsel gelişmelere bakıldığında, karma etki modellerinin ileri düzey uygulamaları, genetik verilerden endüstriyel süreçlere kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Yang ve arkadaşları (2014), bu modellerin genetik ilişkilendirme çalışmalarında avantajlarını ve potansiyel tuzaklarını tartışmışlardır. McCulloch ve arkadaşları (2008) ise genelleştirilmiş karma modellerin teorik ve uygulamalı yönlerini ele almıştır. Ayrıca, Raudenbush ve Bryk (2002), hiyerarşik lineer modellerin eğitim ve sosyal bilimler araştırmalarındaki kullanımını incelemişlerdir.

Karma etki modellerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi çalışmalarında ise, karma etki modellerinin istatistiksel yazılımlar ve algoritmalarla geliştirilmesi, bu modellerin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Lindstrom ve Bates (1988), Newton-Raphson ve EM algoritmalarını kullanarak bu modellerin nasıl optimize edilebileceğini göstermiştir. Koller (2016) ise, robustlmm paketini kullanarak karma etkili modellerin dayanıklılığını artırmıştır.

Sonuç olarak, karma etki modellerinin farklı veri türlerinin analizinde geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu göstermektedir. Karma etki modelleri, biyolojik ve mühendislik verilerinin analizi, endüstriyel süreçlerin iyileştirilmesi ve genetik araştırmalar gibi birçok alanda önemli bir araç olarak kullanılmakta ve çok çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarında güçlü ve esnek araçlar olarak kendini kanıtlamış, çeşitli disiplinlerdeki araştırmalar için değerli bir metodolojik araç olarak da öne çıkmaktadır. Bu modeller, karmaşık veri yapılarının analizinde ve bireyler arası farklılıkların

incelenmesinde önemli avantajlar sunar. Ayrıca bu modellerin esnekliği ve gücü, çeşitli veri türlerinin dinamik ve hiyerarşik yapısını yakalamada kritik bir rol oynamaktadır. İstatistiksel yazılımlar ve algoritmalarla desteklenen bu modeller, gelecekteki araştırmalarda da önemli bir yer tutmaya devam edecektir. Hem teorik temelleri hem de pratik uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda, karma etki modellerinin bilimsel araştırmalarda vazgeçilmez bir yer edindiği görülmektedir.



4. UYGULAMA

4.1. Veri Setinin Tanımı

Bu çalışmada kullanılan veri seti, 15.12.2023 – 30.03.2024 tarihleri arasında farklı bölgelerde yer alan sensörlerden elde edilen sıcaklık ve nem verilerden oluşmaktadır. Bir fabrikadaki çikolata üretim hattında yer alan kalıp ısıtma sıcaklık, kalıp ısıtma nem, kalıp soğutma sıcaklık ve kalıp soğutma nem sensörleri, çikolata üretim hattındaki ısıtma ve soğutma kabinlerine yerleştirilmiş ve belirli aralıklarla ölçüm yaparak veri toplamıştır. Veri seti, 54 ayrı gözlem içermekte ve her bir gözlem bir vardiyayı temsil etmektedir. Bu çalışma için yapılan analiz tarihine kadar sensörlerden elde edilen vardiya veri sayısı 54 olduğu için gözlem sayısı 54 olarak alınmıştır. Üretim sürecinin farklı aşamalarındaki verimlilik ve kalite kontrol sonuçları da kaydedilmiştir. Iskarta oranı da her üretim için ayrıca diğer sensörlerin ürettiği veriyle hesaplanmıştır. Üretimdeki kalıp miktarı, kalıptaki ürün sayısı, kalıp boşaltmadan geçen kalıp sayısı, kalıp boşaltma ıskartası/manuel müdahale, kontrol terazisi reddetme sayısı, kutudaki ürün sayısı, üretilen kutu sayısı ve atık ürün sayısı verileri, ıskarta oranını hesaplamak için kullanılan verilerdir. Toplanan bu veriler, öncelikle bir veri tabanında depolanmış, daha sonra analiz ve raporlama için uygun formatlara dönüştürülmüştür. Veri toplama aracı olarak, sıcaklık ve nem sensörleri kullanılmıştır. Veri setinin güvenilirliği, toplanan verilerin doğrulanması ve uygun istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesiyle sağlanmıştır. Eksik ve hatalı veriler, gerekli temizleme işlemleri yapılarak düzeltilmiştir. Bu sayede, elde edilen veri seti, araştırmanın amacı doğrultusunda kapsamlı ve güvenilir bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Araştırma modeli, ısıtma ve soğutma kabinlerindeki sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranına olan etkilerini incelemek üzere oluşturulmuştur. Aşağıda tez verisinin bir kısmı örnek olarak verilmiştir. Burada Shift (Vardiya): A, B, C; Iskarta Oranı: 1%, ... , 12%, 24%; Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü: 29, ... , 32; Kalıp Isıtma Nem Faktörü: 12, ... , 24, 25; Soğutma Sıcaklık Faktörü: 11, ... , 15, 17; Soğutma Nem Faktörü: 16, ... , 28, 30 şeklindedir.

Tablo 4. 1. Veri Seti

Shift (Vardiya)	Iskarta Oranı	Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü	Kalıp Isıtma Nem Faktörü	Soğutma Sıcaklık Faktörü	Soğutma Nem Faktörü
B	6%	31	23	12	22
B	5%	30	22	12	23
C	6%	31	23	12	21
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
B	4%	30	21	15	19
A	6%	30	19	13	23

Veriler, üretim sürecinin kritik aşamalarında kullanılan soğutma kabinine ve sıcaklık kabinine yerleştirilen hassas nem ve sıcaklık sensörlerinden toplanmıştır. Bu sensörler, yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayan son teknoloji ürünü cihazlardır. Soğutma kabininde bulunan sensörler, ortamın sıcaklık ve nem düzeylerini sürekli olarak izleyip kaydederken, sıcaklık kabininde bulunan sensörler ise özellikle yüksek sıcaklık koşullarında çalışarak ortam değişkenliklerini ölçmektedir. Her iki kabinde de sensörler, belirli aralıklarla veri toplamakta ve bu verileri merkezi bir veri toplama birimine kablosuz olarak iletmektedir. Bu birim, sensörlerden gelen verileri zaman damgası ile birlikte kaydederek, analiz için hazır hale getirmektedir. Sensörler, ortam koşullarındaki ani değişiklikleri anında algılayarak yüksek frekanslı veri toplama yeteneğine sahiptir, bu sayede sıcaklık ve nemdeki mikro düzeydeki dalgalanmalar bile yakalanabilmektedir. Toplanan bu veriler, üretim sürecinin her aşamasında ortam koşullarının ayrıntılı bir profilini çıkarır ve karma etkiler modeli analizi için ideal bir veri seti oluşturur. Bu model sayesinde, soğutma ve sıcaklık kabinlerindeki ortam değişikliklerinin üretim sürecinin genel performansı üzerindeki etkileri daha doğru ve detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Sonuç olarak, sensörlerden elde edilen bu veri seti, üretim sürecindeki değişkenlikleri ve faktörlerin etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmeye olanak tanır.

Veriler toplandıktan sonra, veri setine uygun olarak karma etkiler modeli analizi için seçilmiştir. Karma etkiler modeli, üretim sürecindeki değişkenlikleri ve farklı

faktörlerin etkilerini daha doğru bir şekilde analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu modelde kullanılan veri seti, bağımlı ve bağımsız değişkenler ile sabit ve rastgele etkileri içermektedir. Bu model, üretim sürecindeki değişkenlikleri ve farklı faktörlerin etkilerini daha doğru bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bağımlı değişken, araştırmanın temel sonucunu temsil eden ıskarta oranından oluşmaktadır. Bu oran, üretim sürecinde ortaya çıkan hatalı ürünlerin toplam üretim içindeki payını ifade eder. Bağımsız değişkenler ise, bağımlı değişkeni etkileyebilecek faktörlerden oluşur ve bu değişkenler modelin doğruluğunu artırmak için dikkatle seçilmiştir.

Sabit etki olarak belirlenen vardiya değişkeni, üretim sürecindeki farklı çalışma vardiyalarının genel etkilerini temsil eder. Bu değişken, her vardiyanın kendine özgü özelliklerinin ve çalışma koşullarının ıskarta oranı üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurur.

Rastgele etkiler ise, veri setindeki gözlemler arasında değişen rastgele varyasyonları temsil etmekte ve kalıp ısıtma sıcaklık, kalıp ısıtma nem, soğutma kabini sıcaklık ve soğutma kabini nem değişkenlerinden oluşmaktadır. Üretim sürecinde kullanılan kalıpların ısıtma sıcaklığı, ürün kalitesini doğrudan ve dolaylı bir şekilde etkileyebilen önemli bir faktördür. Bu değişken, farklı sıcaklık seviyelerinin ıskarta oranı üzerindeki etkilerini analiz etmeye olanak tanımaktadır. Kalıpların ısıtma sürecinde maruz kaldıkları nem seviyesi, malzemenin işlenebilirliğini ve nihai ürünün kalitesini etkileyebilir. Bu değişken, nemin üretim sürecindeki rolünü ortaya koymaktadır. Ürünlerin soğutulması sırasında kullanılan kabinlerin sıcaklık seviyesi, ürünlerin nihai özelliklerini belirleyen kritik bir faktördür. Bu değişken, soğutma sürecindeki sıcaklık değişikliklerinin ıskarta oranı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Soğutma kabinlerindeki nem seviyesi de ürünlerin kalitesini etkileyebilir. Bu değişken, farklı nem seviyelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olmaktadır.

Tüm değişkenler ve etkiler, titizlikle seçilmiş ve modeldeki ilişkilerin doğru bir şekilde analiz edilmesi amacıyla dikkatlice yapılandırılmıştır. Veri seti, karma etkiler modeli analizine uygun hale getirilmiş ve ilgili istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bu sayede, elde edilen sonuçlar, araştırmanın amacına yönelik güvenilir ve anlamlı bilgiler sağlayabilmektedir.

4.2. Analiz ve Bulgular

Üretim hattında belirlenen noktalara yerleştirilen sıcaklık ve nem sensörleri, her 3 dakikada bir ölçüm yaparak veri kaydetmiştir. Verilerin toplanma süreci, araştırmanın doğruluğu ve güvenilirliği açısından titizlikle planlanmıştır. Bu veriler, 3 buçuk ay kadar bir süre kesintisiz olarak toplanmış ve analiz için düzenli olarak kontrol edilmiştir. Verilerin tutarlılığını ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla, sensörler düzenli olarak kalibre edilmiştir. Ayrıca, veri toplama sürecinde olası aksaklıkları önlemek için yedek sensörler ve veri kayıt cihazları kullanılmıştır. Toplanan verilerin analizinde, karmaşık veri yapılarının incelenmesine olanak tanıyan karma etkiler modeli kullanılmıştır. Bu model, hem sabit etkiler (vardiya) hem de rastgele etkiler (kalıp ısıtma sıcaklık, kalıp ısıtma nem, soğutma sıcaklık ve soğutma nem faktörleri) içermektedir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu ve homojenliği test edilmiş, ardından modelin uygunluğu için çeşitli istatistiksel testler uygulanmıştır. Ayrıca, ıskarta oranını etkileyen faktörlerin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) ve regresyon analizleri de kullanılmıştır.

İstatistiksel modelin kurulması, üretim hattında toplanan verilerin analiz edilmesi ve sonuçların doğrulanması aşamalarını içermektedir. İlk olarak, sıcaklık ve nem verileri ile ıskarta oranları arasında ilişkiyi belirlemek için ön analizler yapılmıştır. Ardından, karma etkiler modeli kullanılarak verilerin analizi gerçekleştirilmiştir. Modelin doğruluğunu ve geçerliliğini test etmek için modelin performansı çeşitli kriterler kullanılarak değerlendirilmiştir. Modelin güvenilirliğini artırmak amacıyla, farklı senaryolar (örneğin, aykırı değer olan gözlemler) dahil edilerek analiz yapılmıştır.

Toplanan verilerin analiz süreci, çeşitli istatistiksel tekniklerin uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, verilerin dağılımı ve değişkenlik düzeyi gözden geçirilmiş ve normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Analizde, sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranına olan etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu analizlerin sonuçlarıyla, ıskarta oranını etkileyen önemli faktörlerin belirlenmesi ve üretim sürecinde iyileştirmeler yapılması, çalışmanın asıl amacına ulaşması ve çikolata üretim sürecinin kalitesinin artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmadaki gibi deney tasarımı çalışmalarında Minitab, kullanıcı dostu bir veri analizi aracıdır. İstatistiksel analiz, hipotez testleri, regresyon analizi ve ANOVA gibi çeşitli yöntemleri desteklediği için bu çalışmada uygulama aracı Minitab kullanılmıştır. Özellikle karmaşık veri setlerini analiz etmek ve sonuçları görselleştirmek için geniş bir araç yelpazesi sunmakla beraber, kullanıcıların verilerindeki trendleri, ilişkileri ve önemli

bulguları kolayca tespit etmelerini sağlamaktadır. Minitab uygulamasında karma etkiler modeli analizi yapmak için öncelikle verilerinizi yükleyip, 'Stat' menüsünden 'ANOVA' seçeneğine gidilir. Ardından 'Mixed Effects Model' seçeneğini seçilerek analiz penceresi açılır. Bu pencerede, bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenip, sabit ve rastgele etkiler tanımlanır. Model parametrelerini belirlendikten sonra 'OK' butonuna tıklanarak, analiz gerçekleştirilir. Sonuçlar, modelin parametre tahminlerini ve anlamlılık testlerini içeren ayrıntılı bir rapor şeklinde görüntülenecektir. Panel veri analizi ve deney tasarımında kullanılan sabit etkiler, rastgele etkiler ve karma etkiler modelleri, her iki alanın farklı ihtiyaçlarına uygun olarak geliştirilmiştir. Panel veri analizinde, sabit etkiler modeli, her bir bireyin veya grubun zaman içinde değişmeyen kendine özgü etkisini kontrol altına alarak bağımlı değişken üzerindeki etkileri doğru bir şekilde tahmin etmeyi hedefler. Rastgele etkiler modeli, bireyler veya gruplar arasındaki varyansın rastgele olduğu varsayımıyla, bu etkilerin genel popülasyon ortalaması etrafında dağıldığını kabul eder. Karma etkiler modeli ise, sabit ve rastgele etkileri birleştirerek, hem bireylerin sabit etkilerini hem de rastgele değişen etkileri tek bir modelde ele alır, böylece daha karmaşık veri yapılarının analizine olanak tanır. Deney tasarımında da benzer şekilde, sabit etkiler modeli, deneydeki belirli faktörlerin etkilerini sabit tutarak sonuçları analiz ederken, rastgele etkiler modeli bu faktörlerin rastgele olarak seçildiğini varsayarak çalışır. Karma etkiler modeli ise, deneysel tasarımlarda hem sabit hem de rastgele faktörlerin birlikte ele alınması gerektiğinde kullanılır. Aşağıda yer alan 4.1, 4.2 ve 4.3 modelleri ve yer alan açıklamalar, bu deney tasarımında kullanılan deneysel koşulların ve faktörlerin doğasına uygun olarak oluşturulan modellerdir. Deneysel tasarım için bu modellerin kullanılması, deneye özgü faktörlerin etkilerini ayrıntılı olarak analiz etme imkanı sunar (Greene, 2018).

Bu çalışmada verileri kullanarak, sabit etkiler modeli, rastgele etkiler modeli ve karma etkiler modeli için matematiksel modelleri oluşturulmuştur. Ayrıca bu modellerin her birinde i, j ve k indislerini ve değişkenlerin anlamları da detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

Burada:

Bağımlı Değişken : Iskarta Oranı

Sabit Etki : Vardiya

Rastgele Etkiler : Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü

Kalıp Isıtma Nem Faktörü

Soğutma Sıcaklık Faktörü

Soğutma Nem Faktörü

Bu modelde, sabit etkiler (vardiyalar) ele alınır ve her bir sabit faktör seviyesinin bağımlı değişken üzerindeki etkisi incelenir. Sabit Etkiler Modeli (Fixed Effects Model) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad (4.1)$$

Burada:

Y_{ij} : i-inci grup (vardiya) ve j-inci gözlem için gözlemlenen bağımlı değişken değeri (Iskarta Oranı) ifade eder.

μ : Genel ortalamayı ifade eder.

α_i : i-inci grup (vardiya) için sabit etkiyi temsil eder.

i : Her bir vardiyayı (örneğin, 1'den 54'e kadar) temsil eder. Vardiya bazlı sabit etkileri (α_i) yakalamak için kullanılır.

j : Vardiya içinde zaman serisini temsil eder. Eğer zaman serisi verisi olsaydı (örneğin, her vardiyada günlere veya saatlere göre veriler), j indisi kullanılırdı. Ancak, her vardiyada birden fazla gözlem yapılmadığından bu veride j yoktur, her satır bağımsız gözlem olarak değerlendirilebilir. Her bir sabit etki seviyesinde yapılan gözlemleri temsil eder. Örneğin, her vardiya için birden fazla gözlem yapılmışsa, j bu gözlemlerin sırasını gösterir. j indeksi, her bir i seviyesi için gözlem sayısına bağlı olarak değişir.

ϵ_{ij} : Modelin hata terimi, açıklanamayan varyasyonu temsil eder. Hata terimi, genellikle $N(0, \sigma^2)$ dağılımına sahip olduğu varsayılır. i gözlemi ve j zaman dilimi için hata terimini ifade eder.

Rastgele etkiler modelinde, faktör seviyelerinin rastgele seçildiği ve bu faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin rastgele değiştiği varsayılır. Rastgele Etkiler Modeli (Random Effects Model) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_j + \epsilon_{ij} \quad (4.2)$$

Burada:

Y_{ij} : i-inci grup (vardiya) ve j-inci gözlem için gözlemlenen bağımlı değişken değeri (Iskarta Oranı) ifade eder.

μ : Genel ortalamayı ifade eder.

γ_j : Rastgele etkili faktörlerin etkisini (Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü, Kalıp Isıtma Nem Faktörü, Soğutma Sıcaklık Faktörü, Soğutma Nem Faktörü) temsil eder.

i : Her bir vardiyayı (örneğin, 1'den 54'e kadar) temsil eder.

j : Rastgele etkilerin uygulandığı faktör seviyelerini temsil eder. Örneğin, rastgele etkili faktörler Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü, Kalıp Isıtma Nem Faktörü, Soğutma Sıcaklık Faktörü, Soğutma Nem Faktörü ise, bu faktörlerin seviyelerini j indeksi ile gösterilir. j , rastgele etkili faktör seviyeleri kadar aralıkta olur. Eğer her bir faktörün seviyeleri varsa, j bu seviyeleri temsil eder.

ϵ_{ij} : Modelin hata terimi, açıklanamayan varyasyonu temsil eder. Hata terimi, genellikle $N(0, \sigma^2)$ dağılımına sahip olduğu varsayılır. i gözlemi ve j zaman dilimi için hata terimini ifade eder.

Karma etkiler modelinde, hem sabit hem de rastgele etkiler bir arada ele alınır. Karma Etkiler Modeli (Mixed Effects Model) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \epsilon_{ijk} \quad (4.3)$$

Burada:

Y_{ijk} : i -inci sabit faktör (vardiya), j -inci rastgele faktör ve k -inci gözlem için gözlemlenen bağımlı değişken değerini ifade eder.

μ : Genel ortalamayı ifade eder.

α_i : Sabit etkili faktör (vardiya) için etkiyi temsil eder.

γ_j : Rastgele etkili faktörlerin etkisini (Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü, Kalıp Isıtma Nem Faktörü, Soğutma Sıcaklık Faktörü, Soğutma Nem Faktörü) temsil eder.

i : Vardiyaları temsil eder.

j : Rastgele etkilerin uygulandığı faktör seviyelerini temsil eder. Örneğin, rastgele etkili faktörler Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü, Kalıp Isıtma Nem Faktörü, Soğutma Sıcaklık Faktörü, Soğutma Nem Faktörü ise, bu faktörlerin seviyelerini j indeksi ile gösterilir. j , rastgele etkili faktör seviyeleri kadar aralıkta olur. Eğer her bir faktörün seviyeleri varsa, j bu seviyeleri temsil eder.

k : Her i ve j kombinasyonundaki gözlem sayısı kadar değişir. Yani, Belirli bir i vardiyası ve j rastgele faktör seviyesindeki gözlemi temsil eder.

ϵ_{ijk} : Modelin hata terimi, açıklanamayan varyasyonu temsil eder. Hata terimi, genellikle $N(0, \sigma^2)$ dağılımına sahip olduğu varsayılır. i gözlemi, j zaman dilimi ve k ölçümü için hata terimini ifade eder.

Karma Etkiler Modeli, hem sabit etkileri (α) hem de rastgele etkileri (γ_j) içerir, bu da vardiyalar arasındaki hem sabit hem de rastgele varyasyonu modele dahil eder.

Bu modelleme yaklaşımları, vardiyalara göre bağımlı değişken olan Iskarta Oranı'nı, bağımsız değişkenlerle (Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü, Kalıp Isıtma Nem Faktörü, Soğutma Sıcaklık Faktörü, Soğutma Nem Faktörü) ilişkilendirmek ve farklı varyasyonları açıklamak için kullanılır.

Bu araştırma, çikolata üretimindeki ısıtma ve soğutma kabinlerindeki sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranını nasıl etkilediğini incelemiştir. Karma etkiler modeli analizi kullanılarak yapılan araştırma sonuçları, sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olabileceği fakat diğer faktör ve bu faktörlerin düzeylerinin göz önünde bulundurulup, detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiğini göstermiştir. Araştırma, üretim sürecinde bu faktörlerin kontrol altına alınmasının ve optimal seviyelerinin belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, çikolata üretimi ve benzer endüstriyel süreçlerde verimliliği artırmak için kalite kontrol önlemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Bu çalışmada, vardiya, sıcaklık ve nem faktörlerinin ıskarta oranını etkileyip etkilemediği hipotezleri incelenecektir. Hipotezler aşağıda verilmiştir:

Sıfır Hipotezi (H_0):

- **Shift (Vardiya) etkisi:**

$$H_0: \sigma_{Shift}^2 = 0 \quad (4.4)$$

Vardiya'nın (Shift) ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Yani, vardiya arasında gözlenen etkiler sabit değil, sıfırdır.

- **Diğer bağımsız değişkenlerin etkisi:**

$$H_0: \sigma_Y^2 = 0 \quad (4.5)$$

Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü, kalıp ısıtma nem faktörü, soğutma kabini sıcaklık faktörü ve soğutma kabini nem faktörlerinin ıskarta oranı üzerindeki rastgele etkilerinin varyansı sıfırdır. Yani, bu değişkenlerin rastgele etkileri yoktur ve dolayısıyla bu bağımsız değişkenlerin ıskarta oranı üzerindeki etkisi anlamlı değildir.

Alternatif Hipotez (H_1):

- **Shift (Vardiya) etkisi:**

$$H_1: \sigma_{Shift}^2 \neq 0 \quad (4.6)$$

Vardiyaların (Shift) ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Yani, vardiyalar arasında gözlenen etkiler sabit ve sıfırdan farklıdır.

- **Diğer bağımsız değişkenlerin etkisi:**

$$H_1: \sigma_Y^2 \neq 0 \quad (4.7)$$

Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü, kalıp ısıtma nem faktörü, soğutma kabini sıcaklık faktörü ve soğutma kabini nem faktörlerinin ıskarta oranı üzerindeki rastgele etkilerinin varyansı sıfırdan farklıdır. Yani, bu bağımsız değişkenlerin ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir rastgele etkisi vardır.

Tablo 4. 2. Sabit Etkiler Faktör Bilgisi

Faktör Bilgisi			
Faktör	Tür	Seviyeler	Değerler
Shift (Vardiya)	Sabit Etki	3	A; B; C

Burada sabit etkiler olarak, modeldeki genel etkileri temsil eden vardiya değişkeni belirlenmiştir. Rastgele etkiler olarak ise, kalıp ısıtma sıcaklık, kalıp ısıtma nem, soğutma kabini sıcaklık ve soğutma kabini nem değişkenleri belirlenmiştir.

Tablo 4. 3. Sabit Etkilerin Testleri

Sabit Etkilerin Testleri				
Terim	Serbestlik Derecesi (Numerator)	Serbestlik Derecesi (Denominator)	F - Değeri	p – Değeri
Shift (Vardiya)	2	51	0.17	0.843

Vardiya değişkeni için p-değeri = 0.843 > 0.05 olduğundan modelde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu, vardiyaların ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Vardiya bazında verileri ayrıştırmanın anlamlı olmamasında kaynaklı, bundan sonraki çalışmalarda sabit etkiler, farklı bir şekilde tanımlanmalıdır.

Tablo 4. 4. Model Özeti

Model Özeti			
R-Kare (R-sq)	Düzeltilmiş R-Kare (R-sq(adj))	AICc	BIC
0.0389477	0.67%	0.00%	-173.38

Oluşturulan karma etkiler modeli özetine bakıldığında, standart hata (S), modelin tahminlerinin ne kadar güvenilir olduğunu gösteren bir ölçüdür. Daha düşük bir standart hata, tahminlerin daha güvenilir olduğunu gösterir. Buradaki $S = 0.038$ ' dir ve oldukça düşüktür. Bu, modelin tahminlerinin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir. Ancak, bu yorumun yanıltıcı olabileceği durumlar da vardır. Örneğin, belirlilik katsayısı (R-sq) çok düşükse veya model uygun değilse, düşük bir standart hata güvenilir tahminler sağlamaz. Dolayısıyla, standart hata değerini yorumlarken, modelin genel performansını da dikkate almak önemlidir. Daha kapsamlı bir değerlendirme için, yukarıda yer alan belirlilik katsayısı, Düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri (AICc) ve Bayesian Bilgi Kriteri (BIC) gibi diğer model uyum ölçütlerini de bakılmalıdır. Belirlilik katsayısı ise, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyansın ne kadarını açıkladığını gösterir. Değeri %0.00 olduğundan, modelin bağımsız değişkenler tarafından açıklanan varyans oranı çok düşüktür, bu da bize modelin veriyi açıklamada başarısız olduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R-sq(adj)), R-sq değerinin düzeltilmiş bir versiyonudur ve modelin karmaşıklığını göz önünde bulundurur. Değeri %0.00 olduğundan, modelin bağımsız değişkenler tarafından açıklanan varyans oranı çok düşüktür, bu da bize modelin veriyi açıklamada başarısız olduğunu göstermektedir. AICc ve BIC gibi bilgi kriterleri, modelin uyumunu dengelemek için kullanılabilir. AICc değeri, modelin uygunluğunu ve karmaşıklığını dengeleyen bir bilgi kriteridir. Daha küçük bir AICc değeri, bize modelin daha iyi uyduğunu ve daha az karmaşık olduğunu göstermektedir. AICc değerinin -173.38 ve küçük olması, modelin karmaşıklığının düşük olduğunu ve modelin veri ile iyi uyum sağladığını gösterir. BIC değeri, AICc gibi, model uygunluğunu ve karmaşıklığını dengeleyen bir bilgi kriteridir. Daha küçük bir BIC değeri, modelin daha iyi uyduğunu ve daha az karmaşık olduğunu gösterir. BIC değerinin -171.53 ve küçük olması, modelin karmaşıklığının düşük olduğunu ve modelin veri ile iyi uyum sağladığını gösterir.

Sonuç olarak, verilen model özeti bize, modelin veriyi açıklamada başarısız olduğunu ve düşük bir uyum sağladığını göstermektedir. Bu durumda, modelin geliştirilmesi, daha fazla veri toplanması veya farklı bir modelin denenmesi gerekebilir.

Tablo 4. 5. Katsayıların Analizi

Katsayılar (Coefficients)					
Terim	Katsayı (Coef)	Standart Hata (SECoef)	Serbestlik Derecesi (DF)	t-Değeri (t-Value)	p-Değeri (p-Value)
Sabit	0.048159	0.005336	51	9.024983	0
Vardiya A	-0.002534	0.007751	51	-0.326908	0.745
Vardiya B	0.004222	0.007249	51	0.582413	0.563

Tabloda verilen bağımsız değişkenlerin sabit teriminin tahmini katsayısıdır. Yani, bağımsız değişkenlerin tümü sıfır olduğunda, bağımlı değişkenin tahmin edilen ortalama değeridir. Burada da sabit terimin katsayısı $0.048 < 0.05$ olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu, modelin sabit teriminin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. SE Coef (Katsayının Standart Hatası) ise, katsayının tahmini standart hatasıdır. Katsayının ne kadar güvenilir olduğunu gösterir. Daha düşük bir standart hata, katsayının tahmininin daha güvenilir olduğunu gösterirken, daha yüksek bir standart hata, katsayının tahmininin daha az güvenilir olduğunu gösterir. 0.005 olduğundan, oldukça düşük bir standart hata değeridir. Bu da bize sabit terimin tahmininin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir. t-değeri, katsayının sıfır olduğu hipotezini test etmek için kullanılan t-istatistiğidir. 9.024 t-değeri, oldukça yüksek bir değerdir. Bu, sabit terimin katsayısının sıfır olduğu hipotezini reddetme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yani, sabit terimin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. 9.024 t-değeri için, istatistiksel olarak anlamlıdır. Sabit terim p-değeri = $0.000 < 0.05$ olduğundan oldukça anlamlıdır. Bu, modeldeki sabit terimin ıskarta oranı üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermektedir. Her iki vardiyanın sabit terime göre etkisi Shift A için p-değeri = $0.745 > 0.05$ ve Shift B için p-değeri = $0.563 > 0.05$ olduğundan anlamlı değildir. Bu, Shift' in etkisinin ıskarta oranı üzerinde anlamlı olmadığını göstermektedir.

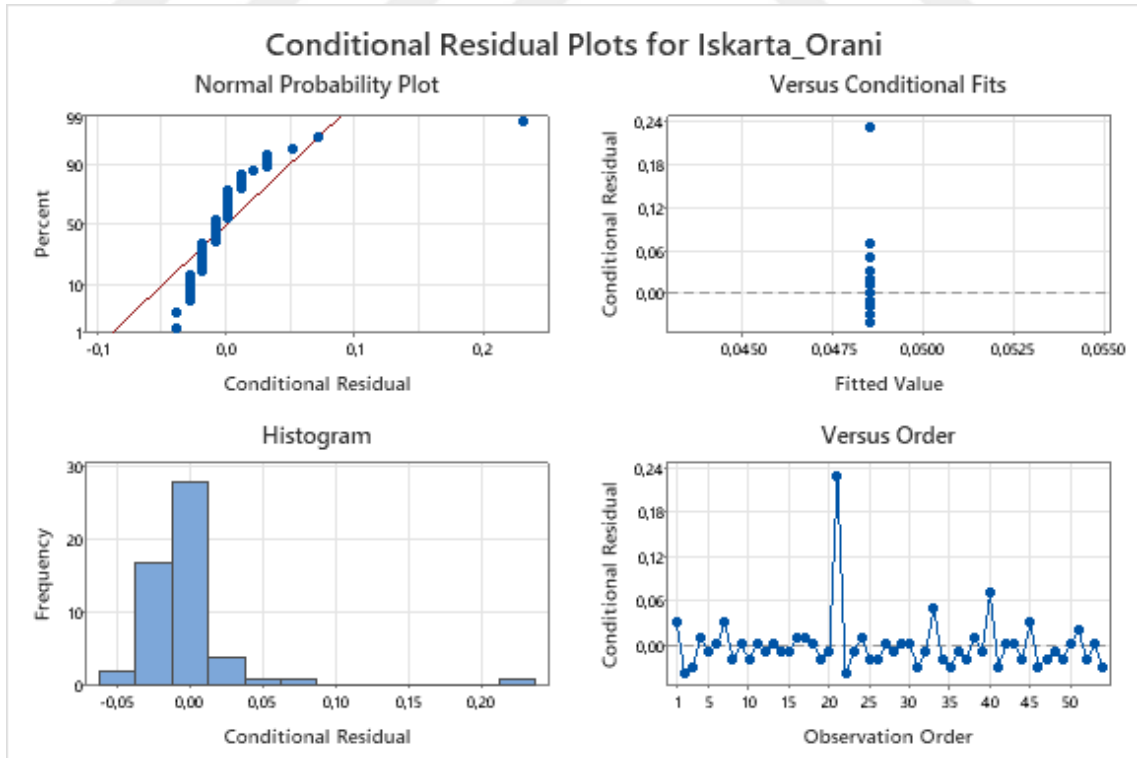
Sonuç olarak bu analizi değerlendirdiğimizde, Shift değişkeni ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Model performansına baktığımızda, modelin genel açıklama gücü düşüktür, bu da bağımsız değişkenlerin ıskarta oranı üzerindeki etkisinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. 6. Olağandışı Gözlemler İçin Tanılama

Marjinal Uyumlar ve Olağandışı Gözlemler için Diagnostikler				
Gözlem (Obs)	Iskarta Oranı	Uyum (Fit)	Artık (Resid)	Standart Artık (Std Resid)
21	0.28	0.048519	0.231481	6.095313

21. gözlem, büyük bir artık değere sahip olduğu için modelde olağandışı bir gözlem olarak belirlenmiştir. Standart artığı 6.095' tir ve bu, oldukça yüksektir. Ayrıca, bazı gözlemler (özellikle gözlem 21) olağandışı davranış sergilemekte ve modelin bu gözlemi iyi açıklayamadığı görülmektedir. 21. gözlem detaylı olarak incelendiğinde ise, ıskarta oranının yüksek olması, bu vardiyada gerektiğinde yapılan manuel müdahalenin diğer vardiyalara göre farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

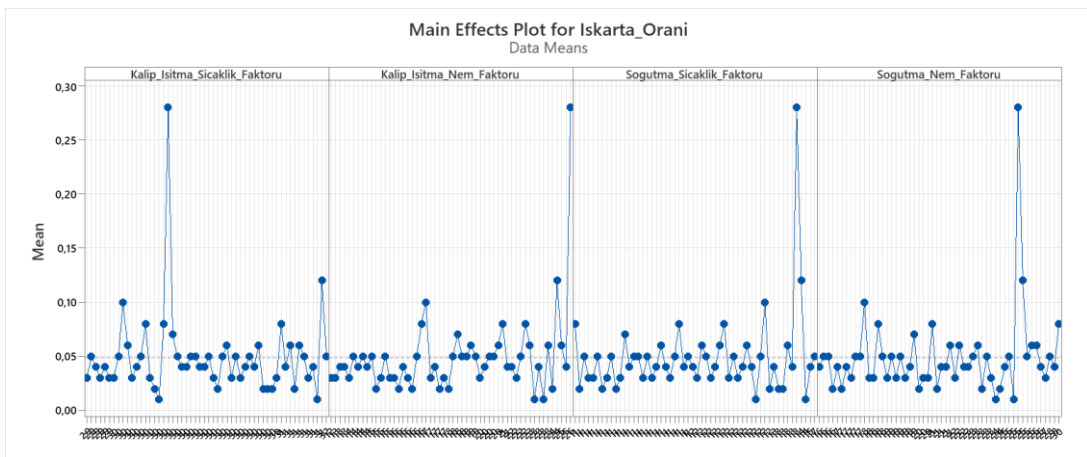
Gelecek adım ve çalışmalarda, modeli iyileştirmek için farklı bağımsız değişkenler eklenebilir veya mevcut bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonları değerlendirilebilir.



Şekil 4. 1. Koşullu Artık Grafikleri

Koşullu artık grafikleri, modelin artıklarını değerlendirmek için kullanılır. Normal olasılık grafiği (Normal probability plot), artıkların normal dağılıma uyup uymadığını gösterir. Grafiğe bakıldığında noktaların doğrusal bir hat boyunca dizildiği görülmektedir, bu da artıkların normal dağılıma yakın olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bu grafiklere bakıldığında, aykırı değerlerin olduğu görülmektedir. Koşullu uyumlara karşı grafiği (Versus conditional fits), artıkların tahmin edilen değerlere karşı nasıl dağıldığını gösterir. Grafikte bir belirgin desen görülmemektedir, bu da modelin iyi uyduğunu gösterebilir. Histogram grafiği ise, artıkların dağılımını gösterir. Artıklar genellikle sıfır etrafında toplanmış ve normal dağılıma yakın bir görünüm sergilemektedir. Sıralı karşılaştırma grafiği (Versus order), artıkların veri sırasına göre nasıl değiştiğini gösterir. Grafik, artıkların zamanla rastgele dağıldığını ve belirgin bir desen göstermediği görülmektedir.

Bu çalışmada bağımlı değişken (ıskarta oranı) için Log dönüşümü, karekök dönüşümü ve Box-Cox Dönüşümü yapılmıştır. Log dönüşümü, verilerin normal dağılıma uyması açısından yeterli olmamıştır. Karekök dönüşümünde ise, verilerin normal dağılıma daha yakın olduğu görülmüştür, ancak tam anlamıyla normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Son olarak Box-Cox dönüşümü yapılmıştır ve verilerin normal dağılıma uyumunu artırmada etkili olmuştur. Grafikteki noktaların büyük çoğunluğu, dönüşüm sonrası referans çizgisine daha yakın hale gelmiştir. Bu dönüşüm, verilerin normal dağılıma daha yakın olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. 2. Iskarta Oranı için Ana Etkiler Grafiği (Main Effects Plot)

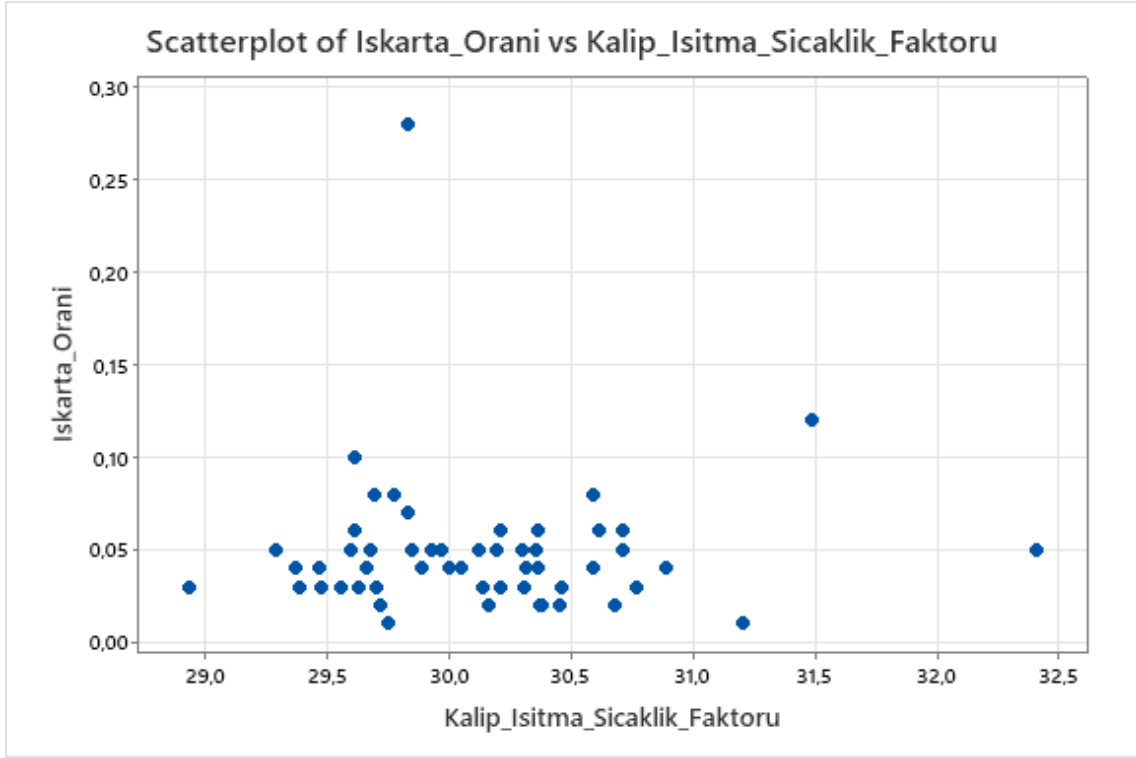
Ana etkiler grafiği, her bir faktörün (bağımsız değişkenin) ortalama ıskarta oranı (bağımlı değişken) üzerindeki etkisini gösterir. Grafik, her bir faktör seviyesinin ortalama ıskarta oranını gösterir ve faktörler arası farkları görselleştirir.

Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü seviyeleri boyunca, belirgin bir zirve noktası görölüyor. Özellikle bir seviyede (görünüşe göre ortada bir yerde) ıskarta oranı oldukça yüksek (yaklaşık 0.30). Genel olarak, diğer seviyelerde ortalama ıskarta oranı oldukça düşük ve sabit görünmektedir. Kalıp ısıtma nem faktörü seviyelerinde de bazı zirve noktaları vardır. Bu zirve noktalar, belirli nem seviyelerinde ıskarta oranının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Ancak, çoğu seviye için ortalama ıskarta oranı düşük ve istikrarlı görünmektedir. Soğutma kabini sıcaklık faktörü için de benzer şekilde, bazı seviyelerde önemli zirve noktaları bulunmaktadır. Bu da belirli sıcaklıklarda ıskarta oranının arttığını göstermektedir. Diğer seviyelerde ise ortalama ıskarta oranı oldukça düşük ve sabit görünmektedir. Soğutma kabini nem faktörü seviyelerinde belirgin zirveler noktalar görünmektedir. Özellikle, belirli nem seviyelerinde ıskarta oranının belirgin şekilde arttığını gözlemleniyor. Diğer seviyelerde yine ortalama ıskarta oranı düşük ve sabit görünmektedir.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, çoğu faktör seviyesi için ortalama ıskarta oranı oldukça düşük olduğu görölmektedir. Belirli seviyelerde görölen yüksek ıskarta oranı, bu seviyelerin üretim süreci için kritik olduğunu ve dikkatle incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu uç noktalar, potansiyel problemlili noktaları işaret etmektedir ve bu seviyelerdeki üretim parametreleri daha detaylı araştırılmalıdır. Faktörlerin ıskarta oranı üzerindeki etkisi seviyelere göre değişiklik göstermektedir, bu da üretim sürecindeki bu faktörlerin dikkatle kontrol edilmesi gerektiğini gösterir. Bu grafik, belirli parametrelerin (ısıtma sıcaklığı, ısıtma nemi, soğutma sıcaklığı ve soğutma nemi) ıskarta oranı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için kullanılır. Belirli seviyelerdeki yüksek ıskarta oranları, üretim sürecinde iyileştirme yapılması gereken alanları işaret edebilir. Bu bulgulara dayanarak, ilgili seviyelerdeki üretim parametreleri optimize edilerek toplam ıskarta oranı azaltılabilir.

ıskarta oranı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri anlamak amacıyla saçılma grafiklerinden de yararlanılmıştır. Saçılma grafikleri (Scatterplot), veri noktalarının genel dağılımını göstermekle beraber, iki değişken arasındaki olası korelasyonları incelememizi sağlamaktadır. Bu çalışmada, sıcaklık ve nem faktörlerinin ıskarta oranı üzerine etkisini analiz etmek için kapsamlı bir veri seti kullanılmış ve bu

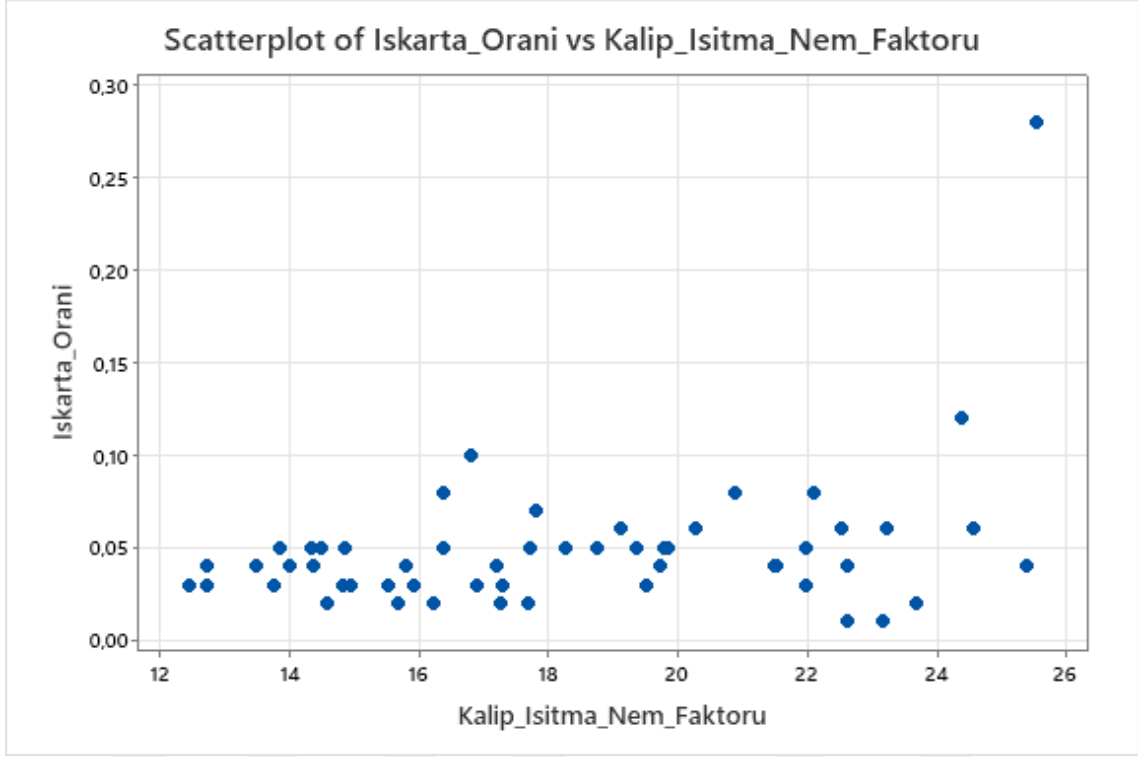
veriler grafikler aracılığıyla da görselleştirilmiştir. Bu kapsamda, saçılma grafiklerinin sunduğu görsel ve istatistiksel analizler, karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 4. 3. Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği

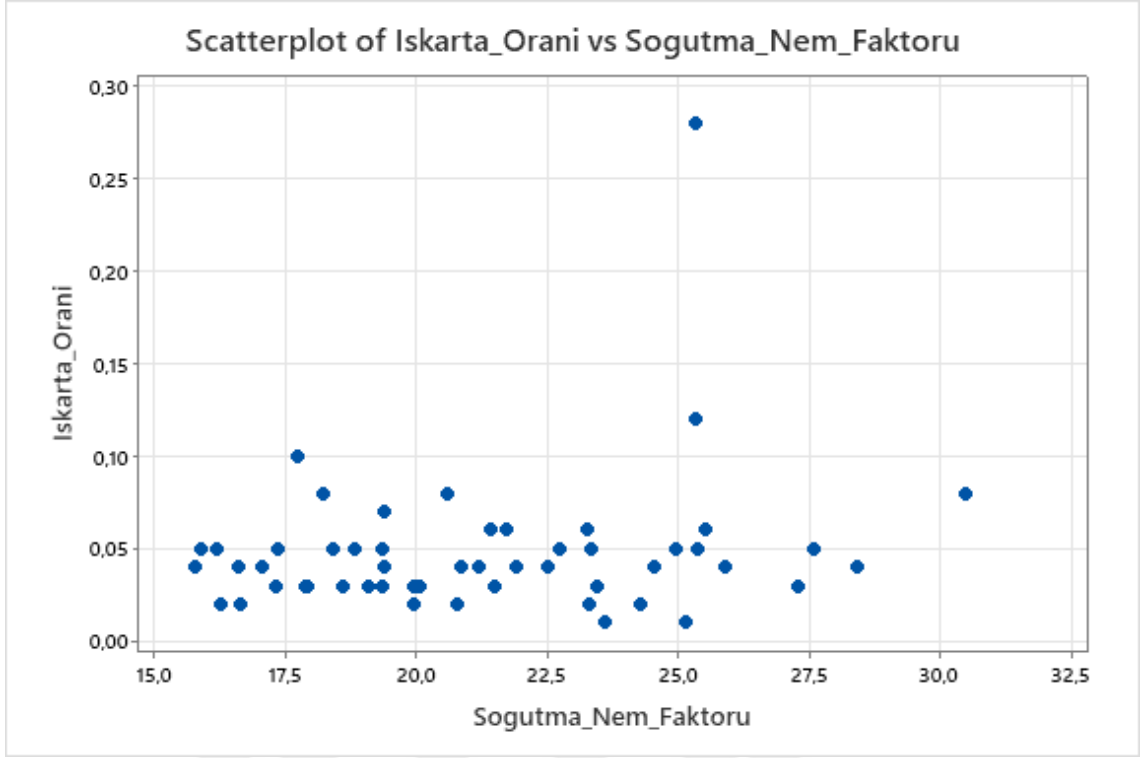
Yukarıdaki grafik, kalıp ısıtma sıcaklık faktörü ile ıskarta oranı arasındaki ilişkiyi gösteren bir saçılma grafiği olup, veri noktalarının genel dağılımını incelememize olanak tanımaktadır. Bu grafikte "Iskarta Oranı" ile "Kalıp Isıtma Sıcaklık Faktörü" arasındaki korelasyon neredeyse sıfır olarak görülmektedir. Grafiği yorumlamak gerekirse: veriler, kalıp ısıtma sıcaklık faktörü değerinin 29.0 ile 32.5 arasında değiştiğini ve ıskarta oranı değerlerinin ise 0.00 ile 0.30 arasında değiştiğini göstermektedir. Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü değerlerinin çoğunluğu 29.0 ile 31.0 arasında yoğunlaşmıştır ve bu aralıkta ıskarta oranı genellikle 0.00 ile 0.10 arasında değişmektedir. 31.0 ve üzeri sıcaklık faktörlerinde veri noktalarının sayısının azaldığı gözlemlenmektedir. En düşük ıskarta oranı genellikle 29.0-31.0 arasındaki kalıp ısıtma sıcaklık faktörü değerlerinde ve 0.30 gibi yüksek bir ıskarta oranı değeri, kalıp ısıtma sıcaklık faktörü 30.5 civarındayken gözlemleniyor, ancak bu yüksek değerler genel eğilimden sapma olarak değerlendirilebilir. Veriler, belirgin bir doğrusal ilişki göstermemektedir. Bunun yerine, kalıp ısıtma sıcaklık faktörü

arttıkça ıskarta oranı genel olarak düşük seviyelerde kalmaktadır, ancak bazı yüksek ıskarta oranları da arada sırada görülmektedir.



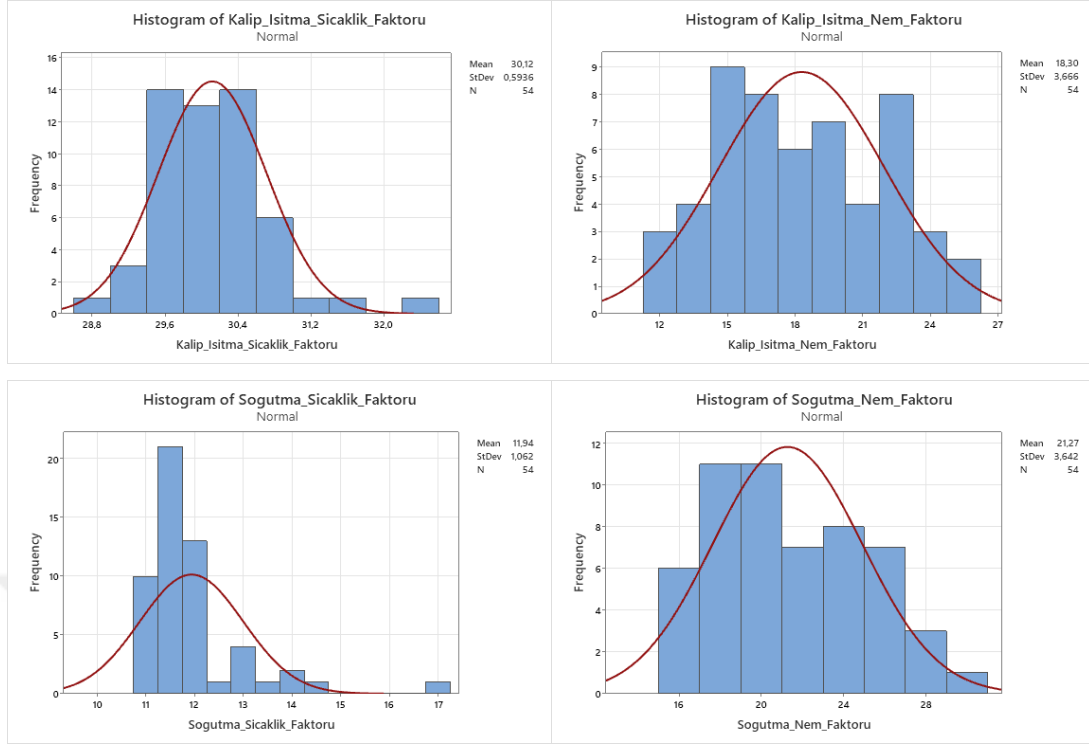
Şekil 4. 4. Kalıp Isıtma Nem Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği

Yukarıdaki grafik, kalıp ısıtma nem faktörü ile ıskarta oranı arasındaki ilişkiyi gösteren bir saçılma grafiğidir. Bu grafikte "Iskarta Oranı" ile "Kalıp Isıtma Nem Faktörü" arasındaki korelasyon sıfıra yakın olarak görülmektedir. Grafiği yorumlamak gerekirse: veriler, kalıp ısıtma nem faktörü değerinin 12 ile 26 arasında değiştiğini ve ıskarta oranı değerlerinin ise 0.00 ile 0.30 arasında değiştiğini göstermektedir. Kalıp ısıtma nem faktörü 12 ile 18 arasında yoğunlaşmış gibi görünüyor ve bu aralıkta ıskarta oranı genellikle 0.00 ile 0.10 arasında değişmektedir. Kalıp ısıtma nem faktörü 18' den sonra dağınık bir dağılım sergilemekte ve ıskarta oranı zaman zaman 0.15 ve 0.20 gibi daha yüksek değerlere çıkmaktadır. En düşük ıskarta oranı genellikle 12-18 arasındaki kalıp ısıtma nem faktörü değerlerinde ve en yüksek ıskarta oranı ise kalıp ısıtma nem faktörü 25.5 civarındayken gözlemlenmektedir. Bunun yerine, kalıp ısıtma nem faktörü arttıkça ıskarta oranı değerlerinde artış ve dağınıklık gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, kalıp ısıtma nem faktörü ile ıskarta oranı arasında belirgin bir doğrusal ilişki yoktur.



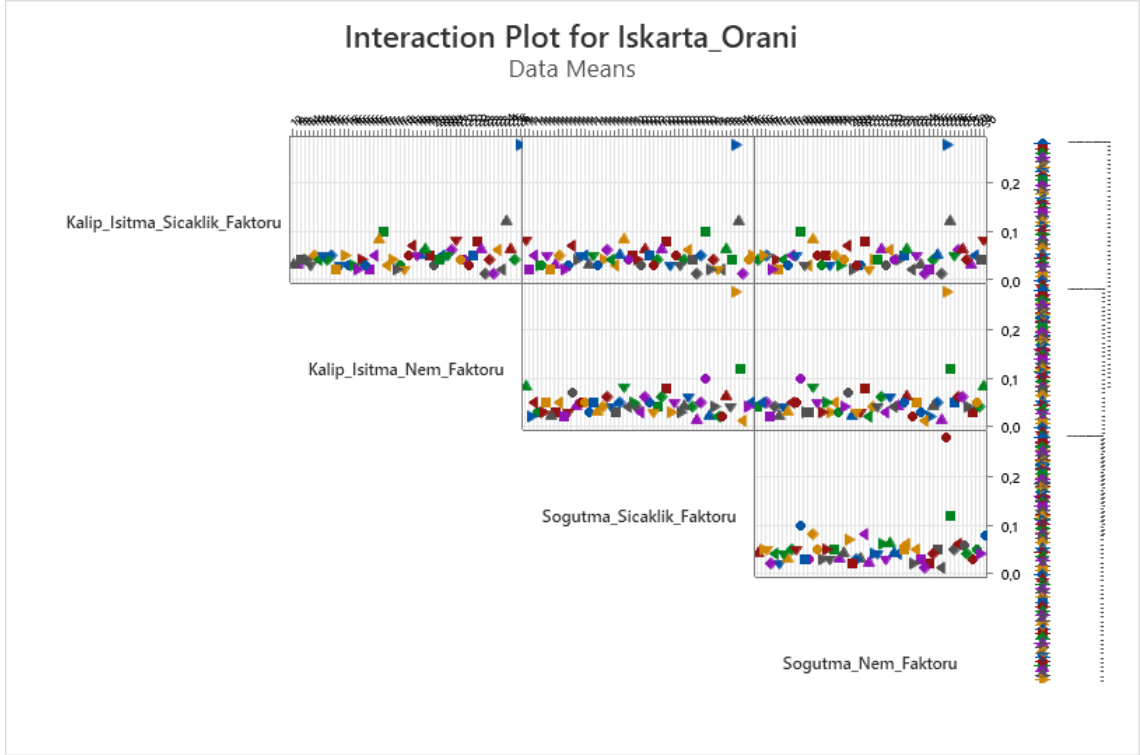
Şekil 4. 6. Soğutma Nem Faktörü - Iskarta Oranı Saçılma Grafiği

Yukarıdaki grafik, soğutma kabini nem faktörü ile ıskarta oranı arasındaki ilişkiyi gösteren bir saçılma grafiği olup, veri noktalarının genel dağılımını incelememize olanak tanır. Bu grafikte "Soğutma Nem Faktörü" ile "Iskarta Oranı" arasında belirgin bir doğrusal ilişki yok gibi görülmektedir. Korelasyonun düşük veya sıfıra yakın olduğu sonucuna varılabilir. Yani, "Soğutma Nem Faktörü" arttıkça "Iskarta Oranı" üzerinde belirgin bir artış veya azalış görülmemektedir. Grafiği yorumlamak gerekirse: veriler, soğutma kabini nem faktörü değerinin 15 ile 32,5 arasında değiştiğini ve ıskarta oranı değerlerinin ise 0,00 ile 0,30 arasında değiştiğini göstermektedir. Soğutma kabini nem faktörü değerlerinin çoğunluğu 15 ile 25 arasında yoğunlaşmıştır ve bu aralıkta ıskarta oranı genellikle 0,00 ile 0,10 arasında değişmektedir. 25 ve üzeri sıcaklık faktörlerinde veri noktalarının sayısının azaldığı gözlemlenmektedir. En düşük ıskarta oranı genellikle 15-25 arasındaki soğutma kabini nem faktörü değerlerinde gözlemlenmekte ve 0,30 gibi yüksek bir ıskarta oranı değeri, soğutma kabini nem faktörü 25 civarındayken gözlemleniyor, ancak bu yüksek değerler genel eğilimden sapma olarak değerlendirilebilir. Veriler, belirgin bir doğrusal ilişki göstermemekte ve bunun yerine, soğutma kabini nem faktörü arttıkça ıskarta oranı genel olarak düşük seviyelerde kalmaktadır. Bazı yüksek ıskarta oranları da arada sırada görülüyor.



Şekil 4. 7. Bağımsız Değişkenlerin Histogram Grafikleri

Yukarıda yer alan dört histogram grafiği, farklı ortalama ve standart sapmalara sahip dört farklı veri setini temsil etmektedir. Ortak bir özellikleri olan 54 veri noktası içermekte ve farklı merkezi eğilimler ve yayılımlarla sunulmaktadır. İlk grafik, ortalamanın 30.12 olduğu ve standart sapmanın 0.5936 olduğu bir veri setini gösterirken, ikinci grafikte ortalama 18.30 ve standart sapma 3.666 olarak belirlenmiştir. Üçüncü grafikte ise, ortalamanın 11.94 olduğu ve standart sapmanın 1,062 olduğu görülmektedir. Dördüncü ve son grafikte ise, ortalama 21.27 ve standart sapma 3.642 olarak ölçülmüştür. Bu grafikler, aynı örnekleme büyüklüğüne sahip olmalarına rağmen, farklı merkezi eğilimler ve yayılımlar göstermektedir. Her bir grafik, veri setinin dağılımı ve değişkenlik derecesi hakkında önemli bilgiler sunarken, bu farklılıkların incelenmesi, her birinin benzersiz özelliklerini ve muhtemel ilişkilerini anlamamıza yardımcı olabilir. Grafiklere bakıldığında, ortalama etrafında simetrik bir dağılım vardır ve bu verilerin normal dağılıma yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Etkileşim Grafiği

Yukarıdaki etkileşim grafiği, çeşitli faktörlerin ıskarta oranı üzerindeki etkisini ve faktörler arasındaki etkileşimleri göstermektedir. Iskarta oranı, üretim sürecinde kabul edilmeyen veya kullanılmayan ürünlerin oranını temsil etmektedir. Grafik, dört ana faktörü incelemektedir. Grafiğin yapısına bakıldığında, yatay ve dikey eksenlerde faktörleri karşılaştırarak etkileşimleri göstermektedir ve her bir faktörün ıskarta oranı üzerindeki bağımsız etkilerini görmek, iki veya daha fazla faktörün birleşik etkilerini incelemek için kullanılmaktadır. Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü ile soğutma kabini sıcaklık faktörü arasındaki etkileşim örnek olarak verilebilir.

Kalıp ısıtma sıcaklık faktörü ve kalıp ısıtma nem faktörü için grafiğe bakıldığında, iki faktörün etkileşiminde, belirli kombinasyonlarda ıskarta oranının belirgin değişiklikler gösterdiği görülmektedir. Soğutma kabini sıcaklık faktörü ve soğutma kabini nem faktörü için ise grafiğe bakıldığında, faktörlerin kombinasyonlarının etkisi, diğer kombinasyonlarla karşılaştırıldığında daha düşük veya daha yüksek ıskarta oranları ile sonuçlanabilmektedir. Eğer noktalar belirgin bir şekilde farklı seviyelerdeyse (bir seviye düşük, diğeri yüksek ıskarta oranı), bu iki faktör arasında bir etkileşim olduğunu gösterilmektedir. Tüm faktörlerin karmaşık etkileşimleri göz önünde bulundurulduğunda, bazı belirli kombinasyonların diğerlerinden daha fazla veya daha az ıskarta oranına neden

olduğu görülmektedir. Özetlemek gerekirse grafik, üretim sürecindeki dört farklı faktörün ıskarta oranı üzerindeki etkilerini ve bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini anlamak için kullanılmaktadır. Grafik, hangi faktör kombinasyonlarının en düşük ıskarta oranını sağladığını belirlemeye yardımcı olmakla birlikte ve böylece üretim süreçlerini optimize etme fırsatları sunmaktadır.

4.3. Nem ve Sıcaklık Değerlerinin ıskarta Oranına Etkisi

Araştırmanın temel odak noktalarından biri, çikolata üretim hattındaki nem ve sıcaklık değerlerinin ıskarta oranına olan etkilerinin belirlenmesidir. Yapılan analizler, nem ve sıcaklık değerlerinin ıskarta oranını belirlemede önemli bir rol oynayabileceğini fakat farklı faktörler ve düzeylerin de incelenmesi gerektiğini göstermiştir. Özellikle, bazı sıcaklık ve nem değerleri için aykırı değerler gözlemlenmiş ve ıskarta oranında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, üretim sürecinde sıcaklık ve nem seviyelerinin kontrol altında tutulmasının ve uygun düzeylerde tutulmasının, farklı çevresel faktörlerin de detaylı olarak ele alınması gerektiğinin önemini vurgulamaktadır.

Elde edilen istatistiksel bulguları yorumlamak gerekirse, ilk olarak, sabit terimin katsayısı $0.048519 < 0.05$ olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu, modelin sabit teriminin bağımlı değişken üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu analizi değerlendirdiğimizde, shift değişkeni ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir. Ayrıca, sıcaklık ve nem değerlerinin ıskarta oranına olan etkileri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Model performansına bakıldığında ise, modelin genel açıklama gücü düşüktür, bu da bağımsız değişkenlerin ıskarta oranı üzerindeki etkisinin zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bazı gözlemler (özellikle gözlem 21) olağandışı davranış sergilemekte ve modelin bu gözlemi iyi açıklayamadığı görülmektedir. 21. gözlem detaylı olarak incelendiğinde ise, ıskarta oranının yüksek olması, bu vardiyada gerektiğinde yapılan manuel müdahalenin diğer vardiyalara göre farklı olması veya farklı bir durumla karşılaşıldığı anlamına gelmektedir. Gelecek adım ve çalışmalarda, modeli iyileştirmek için farklı bağımsız değişkenler eklenebilir veya mevcut bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonları değerlendirilebilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, literatürde daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Literatürdeki benzer araştırmaların sonuçlarıyla kıyaslandığında, çikolata üretim hattındaki nem ve sıcaklık değerlerinin ıskarta oranına olan etkileri

olabileceği konusunda tutarlılık gözlemlenmiş ve farklı faktörlerin de göz önünde bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Önceki çalışmaların bulgularıyla uyumlu olarak, bazı nem ve sıcaklık değerlerinin, ıskarta oranını artırabileceği belirlenmiştir. Bu karşılaştırmalar, bu çalışmanın literatüre katkı sağladığını ve mevcut bilgileri genişlettiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, veri toplama sürecindeki bazı teknik sınırlamalar nedeniyle elde edilen verilerin eksikliği olabilir. Ayrıca, analizde kullanılan modelin bazı varsayımları sağlamadığı durumlar olabilir. Bunlar, çalışmanın sonuçlarının genelleştirilmesini veya yorumlanmasını zorlaştırabilir. Çalışmanın yapıldığı fabrikanın özellikleri ve çevresel faktörler de sonuçları etkileyebilir. Bu kısıtlılıklar, gelecekte yapılacak çalışmalarda dikkate alınmalı ve daha kapsamlı araştırmaların yapılmasına öncülük etmelidir. Doğru bir analiz için daha fazla veri toplanmalı ve bu verilerin analizi yine detaylı bir şekilde yapılmalıdır.

5. SONUÇLAR

Analiz sonuçlarını özetlemek gerekirse, vardiyaların ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur ve H_0 reddedilemez. Hata terimi anlamlıdır, toplam varyansın tamamı hata varyansından kaynaklanmaktadır. Model, bağımsız değişkenlerin ıskarta oranı üzerindeki etkilerini açıklamada yetersizdir. Bağımsız değişkenler toplam varyansı açıklayamamaktadır. Modelin sabit terimi istatistiksel olarak anlamlıdır. Belirli seviyelerde yüksek ıskarta oranları gözlemlenmiştir. Bu yüksek ıskarta oranları, bu faktörlerin belirli seviyelerinin ıskarta oranını anlamlı şekilde etkileyebileceğini göstermektedir ve bu seviyelerin detaylı bir şekilde, olası problemli noktaları ve faktörleri göz önünde bulundurularak dikkatle incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Vardiya değişkeninin ıskarta oranı üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Bu, farklı vardiyaların ıskarta oranı üzerinde farklılık yaratmadığını gösterir.

Bu çalışmanın bulguları, çikolata üretimi sürecindeki ısıtma ve soğutma kabinlerinin yönetimine yönelik öneriler sunmaktadır. Örneğin, üretim hattındaki sıcaklık ve nem seviyelerini doğruluğu için veri üreten sensörler doğru konumlandırılabilir. Üretim hattının tasarımında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin optimize edilmesi ve bu sistemlerin stabilite sağlanması için gerekli önlemlerin alınması önerilebilir. Bu tarz çalışmalar için farklı faktör ve düzeylerde olacak şekilde deney önceden tasarlanabilir, belirli seviyelerde yüksek ıskarta oranları görülen faktörler daha detaylı incelenip, bu seviyelerdeki üretim parametreleri optimize edilebilir, modelin iyileştirilmesi için ek bağımsız değişkenlerin veya etkileşim terimlerinin eklenebilir, büyük artık değerine sahip olağandışı gözlemlerin (örneğin, Gözlem 21) nedenlerinin araştırılabilir ve buna bağlı gerekli iyileştirmeler yapılabilir. Bu şekilde hangi faktör ve düzeylerin üretimde daha etkili olduğu daha iyi araştırılabilir. Bunlar, ıskarta oranını azaltmaya ve üretim verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak, ileriye yönelik araştırmalara odaklanabilecek birkaç öneri bulunmaktadır. Örneğin, çikolata üretimindeki diğer faktörlerin (örneğin, ham madde kalitesi, üretim hattı hızı vb.) ıskarta oranı üzerindeki etkilerinin daha detaylı bir şekilde incelenmesi faydalı olabilir. Ayrıca, farklı mevsimlerde veya farklı üretim koşullarında yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırmak da önemlidir. Bunlar, çikolata üretim sürecinde verimliliği artırmak için daha kapsamlı stratejiler geliştirmeye yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın bulguları, gelecekte yapılacak araştırmalar için bazı öneriler sunmaktadır. Öncelikle, ikolata üretim sürecindeki nem ve sıcaklık değerlerinin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu, belirli sıcaklık ve nem düzeylerinin ıskarta oranına olan etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Ayrıca, farklı üretim koşullarının ve çevresel faktörlerin ıskarta oranı üzerindeki etkilerini araştırmak da önemlidir. Gelecekte yapılacak araştırmalar, çikolata üretim sürecinin kalitesini artırmak ve ıskarta oranını azaltmak için daha etkili stratejiler geliştirmeye yardımcı olabilir.



KAYNAKÇA

- Arslan, H., & Kocaman, M. (2018). Tekstil Üretiminde Hammadde Varyasyonlarının Nihai Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Karma Etkiler Modeli ile Değerlendirilmesi. *Tekstil Bilimleri Dergisi*, 15(2), 123-136.
- Baltagi, B. H. (2008). *Econometric Analysis of Panel Data*. Wiley.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beckett, S. T. (2017). *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. John Wiley & Sons.
- Beck, A., & Goff, J. (2021). *Quality Control in Food Production: Principles and Practices*. Academic Press.
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: Design, innovation, and discovery* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Brown, H. K., & Prescott, R. (2018). *Applied Mixed Models in Medicine*. John Wiley & Sons.
- Brown, J., & Wilson, T. (2020). The impact of workforce competence on production quality. *Journal of Manufacturing Processes*, 48, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.05.003>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin.
- Chen, H., Wang, C., Conomos, M. P., Stilp, A. M., Li, Z., Sofer, T., ... & Lin, X. (2016). Control for population structure and relatedness for binary traits in genetic association studies via logistic mixed models. *American Journal of Human Genetics*, 98(4), 653-666. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2016.02.012>
- Chen, Y., & Zhang, L. (2018). The role of regular maintenance in reducing manufacturing waste. *International Journal of Production Research*, 56(15), 4511-4523. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394590>
- Christ, A. (2009). Review of Mixed effects models and extensions in ecology with R by Alain F. Zuur, Elena N. Ieno, Neil J. Walker, Anatoly A. Saveliev, & Graham M. Smith. *Journal of Statistical Software*, 32(Book Review 1). <http://www.jstatsoft.org/>
- Crosby, P. B. (1979). *Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain*. McGraw-Hill.
- Dale, B. G., van der Wiele, T., & van Iwaarden, J. (2007). *Managing Quality* (5th ed.). Blackwell Publishing.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- Doğanay, B. (2007). Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyoistatistik Ana Bilim Dalı.

- Doğruöz, E. (2013). Analysis of the in-vitro nanoparticle-cell interactions via smoothing splines mixed effects model / Düzleme çizgileri karma etkiler modeli ile in-vitro nanopartikül-hücre etkileşiminin analizi (Yüksek Lisans Tezi). İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2014). An Introduction to Six Sigma and Process Improvement (2nd ed.). Cengage Learning.
- Erkan, İ. (2011). Mixed effects models for time series gene expression data / Zaman serisi gen ifade verileri için karma etkili modeller (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Bölümü.
- Feigenbaum, A. V. (1991). Total Quality Control (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Fisher, R. A. (1935). The Design of Experiments. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Fitzmaurice, G. M., Laird, N. M., & Ware, J. H. (2011). Applied Longitudinal Analysis (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Garcia, M., & Perez, L. (2018). Enhancing worker skills for improved production quality. *Industrial Management & Data Systems*, 118(2), 401-414. <https://doi.org/10.1108/IMDS-07-2017-0303>
- Garvin, D. A. (1984). What Does "Product Quality" Really Mean? *Sloan Management Review*, 26(1), 25-43.
- Gałecki, A., & Burzykowski, T. (2013). Linear mixed-effects models using R: A step-by-step approach. New York, NY: Springer. ISBN 978-1-4614-3900-4.
- Gelman, A., & Hill, J. (2006). Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. Cambridge University Press.
- Goldstein, H. (2011). Multilevel Statistical Models. John Wiley & Sons.
- Gomes, D. G. E. (2022). Should I use fixed effects or random effects when I have fewer than five levels of a grouping factor in a mixed-effects model? *PeerJ*, 10, e12794. <https://doi.org/10.7717/peerj.12794>
- Greene, W. H. (2018). Econometric Analysis. Pearson.
- Hair Jr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate Data Analysis. Pearson Education.
- Hartel, R. W. (2013). Chocolate Science and Technology. Springer.
- Harville, D. A. (1977). Maximum Likelihood Approaches to Variance Component Estimation and to Related Problems. *Journal of the American Statistical Association*, 72(358), 320-338.
- Henderson, C. R. (1975). Best Linear Unbiased Estimation and Prediction under a Selection Model. *Biometrics*, 31(2), 423-447.
- Hothorn, T., & Everitt, B. S. (2014). A Handbook of Statistical Analyses Using R. CRC Press. James, E. (n.d.). Introduction to mixed effects models. Retrieved from <https://emljames.github.io/mixed-effects-models/>

- Hox, J. J. (2010). *Multilevel Analysis: Techniques and Applications* (2nd ed.). Routledge.
- Hülya Olmuş, Semra Oral Erbaş, & Ezgi Nazman. (2017). *SPSS Uygulamalı İstatistiksel Deney Tasarımı*. İstanbul: Yayınevi.
- Ishikawa, K. (1985). *What Is Total Quality Control? The Japanese Way*. Prentice Hall.
- Jackson, R. L., Jones, P. D., & Smith, T. A. (2012). The impact of temperature control on chocolate production. *Journal of Food Quality*, 35(6), 498-508. <https://doi.org/10.1111/jfq.12014>
- Johnson, R., & Taylor, P. (2017). Optimization of machine settings for quality improvement in manufacturing. *Production Planning & Control*, 28(10), 815-827. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1314390>
- Juran, J. M. (1999). *Juran's Quality Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Koller, M. (2016). robustlmm: An R package for robust estimation of linear mixed-effects models. *Journal of Statistical Software*, 75(6). <https://doi.org/10.18637/jss.v075.i06>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2019). *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill Education.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13). <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Laird, N. M., & Ware, J. H. (1982). Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, 38(4), 963-974. <https://doi.org/10.2307/2529876>
- Lee, J., & Kim, H. (2021). Environmental control systems in manufacturing: Reducing scrap rates. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(1), 45-58. <https://doi.org/10.30638/eemj.2021.005>
- Lindstrom, M. L., & Bates, D. M. (1988). Newton-Raphson and EM algorithms for linear mixed-effects models for repeated-measures data. *Journal of the American Statistical Association*, 83(404), 1014-1021. <https://doi.org/10.1080/01621459.1988.10478693>
- Martens, H., Nielsen, M. A., & Engelsens, S. B. (2016). Monitoring chocolate quality: Interplay between temperature and humidity. *Food Control*, 64, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.018>
- Maxwell, S. E., & Delaney, H. D. (2004). *Designing experiments and analyzing data: A model comparison perspective* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- McCulloch, C. E., Searle, S. R., & Neuhaus, J. M. (2008). Generalized, linear, and mixed models. In *Wiley Series in Probability and Statistics* (Chapter 1). Hoboken, NJ: Wiley-Interscience.
- McLean, R. A., Sanders, W. L., & Stroup, W. W. (1991). A unified approach to mixed linear models. *The American Statistician*, 45(1), 54-64. <https://doi.org/10.2307/2685241>

- Milliken, G. A., & Johnson, D. E. (1992). Analysis of messy data: Vol. I. Designed experiments. New York, NY: Chapman & Hall.
- Minifie, B. W. (1989). Chocolate, Cocoa, and Confectionery: Science and Technology (3rd ed.). Springer.
- Montgomery, D. C. (2013). Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons.
- Moran, J. W., & Shapiro, H. N. (2017). Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Oakland, J. S. (2003). Total Quality Management: Text with Cases (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Oakland, J. S. (2019). Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases. Routledge.
- Pinheiro, J., & Bates, D. M. (2006). Mixed-effects models in S and S-PLUS. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/b98882>
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. Springer.
- Process Management Institute. (2021). Effective process monitoring and control in manufacturing. Process Control Journal, 33(2), 89-104. <https://doi.org/10.1016/j.procon.2021.01.002>
- Rabe-Hesketh, S., & Skrondal, A. (2012). Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata (3rd ed.). Stata Press.
- Raudenbush, S. W., & Bryk, A. S. (2002). Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods. Sage Publications.
- Rencher, A. C., & Christensen, W. F. (2012). Methods of Multivariate Analysis. John Wiley & Sons.
- Sakar, M., & Kataria, S. (2019). Food Production and Processing: Quality Assurance, Safety, and Hygiene. Springer.
- Sanduni, T. Introduction to linear mixed effect model. Medium. Retrieved from <https://medium.com/@thejasanduni/introduction-to-linear-mixed-effect-model-9ae838f9c450>
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Houghton Mifflin.
- Smith, D., & Jones, A. (2020). Material quality and its impact on production waste. Materials Science and Engineering, 9(3), 213-225. <https://doi.org/10.1080/17588970.2020.1234567>
- Smith, J. (2020). Scientific Experimentation: Principles and Methods. New York: Academic Press.

- Smith, R., & Green, T. (2019). Integrating process control systems in manufacturing. *Journal of Operations Management*, 31(7), 672-686. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2019.05.006>
- Snijders, T. A. B., & Bosker, R. J. (2012). *Multilevel Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Multilevel Modeling* (2nd ed.). Sage Publications.
- StatsTest.com. (n.d.). Mixed effects model. Retrieved from <https://www.statstest.com/mixed-effects-model/>
- Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2000). *The Mahalanobis-Taguchi System*. McGraw-Hill.
- Talbot, G. (2018). *Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products*. Woodhead Publishing.
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Method for assessing quality control systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 27(4), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2008.06.005>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2017). *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education.
- WallStreetMojo. (n.d.). Mixed-effects model - What is it, assumption, example, vs ANOVA. Retrieved from <https://www.wallstreetmojo.com/mixed-effects-model/>
- West, B. T., Welch, K. B., & Galecki, A. T. (2014). *Linear Mixed Models: A Practical Guide Using Statistical Software* (2nd ed.). CRC Press.
- White, J. S., Peterson, D. G., & Thompson, D. R. (2015). Effects of humidity on chocolate production: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(4), 929-938. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12712>
- White, P., Brown, S., & Miller, J. (2019). Environmental factors affecting product quality in manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 236, 1176-1189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.029>
- Wikipedia. (n.d.). Mixed model. In Wikipedia. Erişim tarihi: 3 Haziran 2024, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mixed_model
- Wikipedia. (s.a.). Tek Faktörlü Varyans Analizi. Erişim tarihi: 7 Temmuz 2024, URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Tek_fakt%C3%B6rl%C3%BC_varyans_analizi
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press.
- Wright, A. J., Lopez, A. M., & Smith, R. P. (2014). Humidity control in chocolate processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(18), 4141-4146. <https://doi.org/10.1021/jf405663k>
- Yang, J., Zaitlen, N. A., Goddard, M. E., Visscher, P. M., & Price, A. L. (2014). Advantages and pitfalls in the application of mixed-model association methods. *Nature Genetics*, 46(2), 100-106. <https://doi.org/10.1038/ng.2876>

- Yıldız, S., & Arkadaşları. (2016). Otomotiv Üretim Hattında Kalite Kontrol Süreçlerinde Karma Etkiler Modeli Kullanımı. Üretim Teknolojileri Dergisi, 12(3), 45-59.
- Zhang, X., & Li, Y. (2019). The effect of raw material quality on manufacturing defects. Journal of Materials Processing Technology, 271, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.03.004>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R. New York, NY: Springer-Verlag.



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 000-0001-9138-5169

Ad Soyad: Mukaddes ŞİMŞEK

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2024, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstatistik Bölümü, İstatistik Anabilim Dalı
- 2023, ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş., Test ve Sürüm Uzman Yardımcısı
- 2022, Planlama Sorumlusu, ETİ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- 2021, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim fakültesi, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü
- 2021, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü (%30 İngilizce)

Projeler:

- ETİ | New Country Rollout Project
- ETİ | SAP S4 HANA Platform Yükseltme projesi
- ETİ | Test Otomasyonu Projesi (UiPath – RPA)
- ESTÜ | 209-Lisans Öğrenci Projeleri (LÖP)
- TÜBİTAK | 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri
- International Journal of Engineering and Innovative Research | Optimization of Removal Efficiency and Absorption Capacity of Dyestuffs by Aspergillus sp. Using MANOVA (Yıl 2021, Cilt 3, Sayı 3, 187- 200, 16.09.2021)