

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

**VERİ ARTTIRMA TEKNİĞİNİN ENDÜSTRİYEL BİR
PROBLEMDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alptekin KAVAKOĞLU

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2025

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

**VERİ ARTTIRMA TEKNİĞİNİN ENDÜSTRİYEL BİR
PROBLEMDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alptekin KAVAKOĞLU

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Garip ERDOĞAN

HAZİRAN 2025

Alptekin Kavakoğlu tarafından hazırlanan “VERİ ARTTIRMA TEKNİĞİNİN ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEMDE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 16.06.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Dr.Öğr.Üyesi Garip ERDOĞAN**(Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof.Dr.Süleyman Can KURNAZ**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof.Dr.Ahmet ATASOY**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “VERİ ARTTIRMA TEKNİĞİNİN ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEMDE İNCELENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(16/06/2025)

Alptekin KAVAKOĞLU





Aileme ve sevdiklerime...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimde bana yol gösteren, akademik bilgi ve birikimlerini cömertçe paylaşan Dr.Öğr.Üyesi Garip Erdoğan'a en derin şükranlarımı sunarım. Tez çalışmamın her aşamasında değerli görüşleri, eleştirel bakış açısı ve bitmek bilmeyen desteğiyle bu sürecin en verimli şekilde ilerlemesini sağladınız. Her zaman yanımda olarak manevi güç kaynağım olan aileme, özellikle sabırları, anlayışları ve koşulsuz sevgileri için teşekkür ederim. Bu yolculukta bana inanan ve her adımda güven aşılayan değerli ailem, başarımın en büyük mimarlarıdır. Teknik destekleri ve yapıcı yönlendirmeleriyle katkı sağlayan Aykut İNANOĞLU'na da teşekkür ederim. Sağladığı motivasyon ve desteğiyle çalışmamın daha sistemli ilerlemesine önemli katkılarda bulunmuştur. Tez çalışmamın yürütülmesinde ihtiyaç duyduğum deneysel verileri temin eden Stonewrape Kültür Taşı San. A.Ş.'ye teşekkür ederim. Son olarak en büyük manevi destekçim Hazel ÜNAL'a, zor zamanlarımda gösterdiğin anlayış, motivasyonun ve bitmek bilmeyen desteklerin için minnettarım. Senin varlığın, bu tezi tamamlama sürecimdeki en büyük moral kaynağı oldu, yanımda olduğun için teşekkür ederim.

Alptekin KAVAKOĞLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kültür Taşının Tanımı ve Genel Bilgilendirme	3
2.1.1. Kültür taşının tanımı	3
2.1.2. Tarihçesi.....	3
2.1.3. Doğal taşlardan farkları	5
2.2. Malzemeler ve Bileşenler	5
2.2.1. Çimento.....	6
2.2.2. Kum	6
2.2.3. Ponza.....	7
2.2.4. Katkı maddeleri	7
2.2.5. Su iticiler	8
2.2.6. Pigment boyalar.....	8
2.3. Üretim Süreci	9
2.4. Fiziksel ve Mekanik Özellikler	11
2.4.1. Basınç dayanımı testi.....	15
2.4.2. Yarmada çekme dayanımı testi	15
2.4.3. Yoğunluk testi	16
2.4.4. Su emme testi	17
2.4.5. Hava etkileri nedeniyle yıpranmaya karşı direnç testi.....	18
3. İŞLETME İÇİ KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ	21
3.1. Yüzey Kalitesinin Kontrolü	21
3.2. Ölçü Kontrolü.....	23
3.3. Boya Kontrolü	24
3.4. Paketleme Kontrolü	25
3.5. Depolama Kontrolü	27
3.6. Sevkiyat Kontrolü.....	28
3.7. Çevresel Etkiler ve Atık Yönetimin Kontrolü	29
4. DENEY TASARIMI METOTLARI	31
4.1. Deney Tasarımın Kavramları.....	31
4.2. Deney Tasarımın Önemi.....	32
4.3. Deney Tasarımının Adımları	33
4.3.1. Deney tasarımı amaç belirleme	34
4.3.2. Deney tasarımı değişkenlerin seviyelerin belirlenmesi	35
4.3.3. Deney tasarımı seçilmesi	36

4.3.4. Deneyin gerçekleştirilmesi	37
4.3.5. Deney verilerinin istatistiksel analizi.....	38
4.3.6. Deney sonuçlarının yorumlanması.....	40
4.4. Deney Tasarımı Yöntemleri	41
4.4.1. Taguchi deney tasarımı	41
4.4.2. Tam faktöriyel deney tasarımı	42
4.4.3. Kısmi faktöriyel deney tasarımı.....	42
4.4.4. Plackett Burman (Screening,PB) deney tasarımı.....	43
5. MAKİNE ÖĞRENMESİ.....	45
5.1. Makine Öğrenmesi Algoritmaları	46
5.1.1. Denetimli öğrenme algoritması	46
5.1.1.1. Lineer regresyon.....	46
5.1.1.2. Random forest.....	47
5.1.1.3. Gradient boosting	48
5.1.2. Denetimsiz öğrenme algoritması	48
5.1.3. Pekiştirmeli öğrenme algoritmaları.....	49
5.2. Veri Arttırma Metotları	50
5.2.1. Generative adversarial networks yöntemi ile sentetik veri üretimi	52
5.2.2. Bayesyen ağı yöntemi ile sentetik veri üretimi.....	52
5.2.3. Bootstrap yöntemi ile sentetik veri üretimi	52
5.2.4. Gauss gürültüsü ile sentetik veri üretimi	53
5.2.5. Normalizing flows ile sentetik veri üretimi	53
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	55
6.1. Verileri Toplama Tekniği	55
6.1.1. Değişkenlerin tanımlanması	56
6.2. Verilerin Plackett Burman (Screening) Metodu İle İncelenmesi.....	57
6.3. Düzenlenmiş Verilerin PB (Screening) Metodu İle İncelenmesi	62
6.4. Arttırılmış Veri Setlerinin Anlam Düzeyi	66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

AICc	: Model seçim kriterleri
ANOVA	: Varyans Analizi
BIC	: Model seçim kriterleri
Coef	: Katsayı Tahmini
DOE	: Deney Tasarımı
GAN	: Generative Adversarial Networks
GB	: Gradient Boosting
ID	: Identity (Kimlik)
LR	: Lineer Regresyon
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek
MES	: Üretim Yürütme Sistemi
ML	: Makine Öğrenmesi
MSDS	: Güvenilirlik Bilgi Formu
PB	: Placket Burman
PLC	: Programlanabilir Kontrol Cihazı
PRESS	: Model seçim kriterleri
PU	: Poliüretan
RF	: Random Forest
RSM	: Yanıt Düzeyi Yöntemi
S	: Standart Sapma Hatası
SE Coef	: Katsayı Standart Hatası
T-Value	: Katsayı İçin T-İstatistiği
UV	: Ultraviyole
VIF	: Multikolineerlik Değeri



SİMGELER

F	: Varyans analizine ait F değeri
MS	: Kareler ortalaması (Mean Square)
n	: Deney Sayısı
P	: İstatistiksel anlamlılık
SS	: Kareler toplamı (Sum of Squares)
VIF	: Çoklu doğrusal bağlantı (Variance Inflation Factor)
β_0	: Sabit Terim
β_1	: Eğim
ε	: Gözlemlenen Değerin Modelden Sapması
σ	: Standart Sapma
σ^2	: Varyans



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. DOE Kavramları.....	31
Tablo 4.2. Tamamlayıcı İstatistiksel Veriler	38
Tablo 6.1. Bağımsız Değişkenlerin Alt-Üst Değerleri.....	57
Tablo 6.2. Çoklu Lineer Regresyon Analizi.....	58
Tablo 6.3. Screening Deney Tasarımı Özet Modeli.....	60
Tablo 6.4. Düzenlenmiş Verilerin Çoklu Lineer Regresyon Analizi.....	63
Tablo 6.5. Düzenlenmiş Modelin Özet Tablosu	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yapı Malzemelerinin Kronolojik Grafiği.....	5
Şekil 2.2. Numune Kalıp Ölçüleri	12
Şekil 2.3. Numune Kalıp Ölçüleri	13
Şekil 2.4. Numune Kalıp Ölçüleri	13
Şekil 2.5. Kurlenme Sürecine Hazırlanmış Numunelerin Son Hali	14
Şekil 2.6. 28 Günlük Su Banyosu.....	14
Şekil 2.7. Yarmada Çekme Dayanımı Çekme Çeneleri	16
Şekil 2.8. Basınç Dayanımı Su Emme İlişkisi	18
Şekil 2.9. Donma Ve Çözünme Sıcaklık Grafiği	19
Şekil 3.1. Kabarcıklaşma Oluşan Bir Taş Örneği	22
Şekil 3.2. Paketlemede Kullanılan Ürünler.....	26
Şekil 4.1. DOE Adımları.....	34
Şekil 4.2. DOE Amacın Belirlenmesi.....	35
Şekil 4.3. DOE Proses Gösterimi	36
Şekil 5.1. Random Forest Dalları	48
Şekil 6.1. Kurutma Fırını	56
Şekil 6.2. Normal Dağılım Grafiği	61
Şekil 6.3. Yarı Normal Dağılım Grafiği	61
Şekil 6.4. Pareto Analizi	62
Şekil 6.5. Düzenlenmiş Veri Normal Dağılım Grafiği	65
Şekil 6.6. Düzenlenmiş Veri Pareto Analizi	66
Şekil 6.7. Lineer Regresyon Modeli Performans Grafiği	67
Şekil 6.8. Random Forest Modeli Performans Grafiği.....	68
Şekil 6.9. Gradient Boosting Modeli Performans Grafiği	68
Şekil 6.10. Model Performansı Karşılaştırma Grafiği	69



VERİ ARTTIRMA TEKNİĞİNİN ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEMDE İNCELENMESİ

ÖZET

Kültür taşı, doğal taş dokusunu ve estetik görünümünü ekonomik, hafif ve kolay uygulanabilir bir malzeme olarak sunarken cephe kaplamalarından iç mekân dekorasyonuna, peyzaj düzenlemelerinden tarihi yapı restorasyonlarına kadar geniş bir yelpazede mimari ve tasarım projelerine estetik ve işlevsel katkılar sağlar. Otel lobileri, restoran şömine çevreleri gibi sosyal alanlarda sıcak ve doğal bir atmosfer yaratırken dış cephe giydirmelerinde dayanıklılığıyla yapı bütünlüğünü korur, bahçelerde patika kenarlarında ve çardak ayaklarında dekoratif vurgularla çevresel uyum sunar. Bu üretim sürecinde kırılma probleminin önceden tahmin edilmesi ve kontrol altına alınması, kalite yönetimi ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik öneme sahiptir. Regresyon analizi yapılarak çeşitli bağımsız değişkenlerin çıktı üzerindeki kuvvetleri ölçülmüş, buna istinaden anlamsız bulunan veri setleri sentetik veri arttırma teknikleri ile geliştirilerek sistem üzerindeki etkileri yeniden test edilmiştir. Bu amaçla, sentetik veri eklenen veri setleri Lineer Regresyon ve Random Forest gibi modeller etkin kullanılarak model performansını ölçmek üzere R^2 , MSE ve MAE gibi istatistiksel ölçütler uygulanmıştır. Model kararlılığını ve genelleme yeteneğini güçlendirmek ve sentetik veri eklemek için Gauss gürültüsü ekleme ve Bootstrap örnekleme yöntemleri gibi veri çeşitlendirme teknikleri de benimsenmiştir. Gauss gürültüsü, model eğitim sürecine rastgele varyasyonlar katarak tahmin sapmalarını dengelerken, Bootstrap yöntemi farklı örnekleme kombinasyonları yaratarak modelin uç değerlerle başa çıkma yetisini artırır. Model geliştirme ve doğrulama aşamalarında, her iki veri zenginleştirme tekniğinin, R^2 değerlerinde ve hata metriği skorlarında anlamlı iyileşmeler sağladığı deneysel bulgularla ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, sentetik veri üretimi yaklaşımlarının kullanılmasının, süreç kontrolü ve kalite güvencesi açısından bütüncül bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu bütünlük yöntemi, operatörlerin karar verme süreçlerini destekleyerek kırılma olasılığını düşürecek proses ayarlamalarının zamanında yapılmasına imkân tanır; aynı zamanda üretim hattında yeniden işleme ihtiyacını azaltarak hem iş gücü optimizasyonu hem de atık yönetimi süreçlerinde sürdürülebilir iyileştirmeler sunar. Dolayısıyla, kültür taşı üretimindeki kırılma tahmin modellerinin, mimari projelerde hem estetik hem de yapısal performansın güvence altına alınmasında anahtar rol oynayan bir teknoloji entegrasyonu olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, gelecekte gerçek zamanlı izleme sistemleri ve otonom kontrol döngüleriyle desteklenen endüstriyel otomasyona zemin hazırlayarak hem maliyet etkinliği hem de çevresel sorumluluğu bir arada gerçekleştirmeyi hedefleyen akıllı üretim felsefesine hizmet edecektir.



INVESTIGATION OF THE DATA AUGMENTATION TECHNIQUE IN AN INDUSTRIAL PROBLEM

SUMMARY

Cultured stone is a versatile building material that offers an economical and practical alternative to natural stone by imitating its aesthetic properties. While processing and transporting natural stone is both difficult and costly, cultured stone eliminates these challenges. It is widely used in both interior and exterior applications, including facade cladding, interior decoration, landscape design, and the restoration of historical buildings.

The aim of this study is to examine the cultured stone production process and determine the optimal production parameters. A major quality issue during production is the cracking of the stones, which leads to material waste and the need for reprocessing. This negatively affects production efficiency. Therefore, identifying and preventing the causes of these cracks is crucial for improving the overall manufacturing process.

In the initial phase of the research, the main process parameters affecting product quality were identified. For this purpose, the Plackett-Burman design, a method under the Design of Experiments (DOE) framework, was used. This approach allows for the rapid analysis of variable effects using a minimal number of experiments. Six different process parameters were tested at two levels, and for each combination, the percentage of cracked stones was measured and evaluated.

Experimental data were analyzed using Linear Regression (LR) and Random Forest (RF) algorithms. Model performance was assessed using statistical metrics such as the coefficient of determination (R^2), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Error (MAE). While both models provided satisfactory results under certain conditions, they struggled with outliers and the limited diversity of the dataset. This showed that their generalization capability was limited.

To address the lack of diversity and imbalance in the data, data augmentation techniques were applied. Gaussian noise was added to the process parameters to introduce small, random variations, enabling the model to learn from a wider range of scenarios. Additionally, Bootstrap sampling was used to generate synthetic samples by repeatedly selecting subsets from the original data. This significantly increased the volume of the dataset.

The results demonstrated that these data augmentation methods considerably improved model performance. Gaussian noise made the model more sensitive to slight variations in the data, while the Bootstrap technique helped reduce overfitting and increased robustness against extreme values.

Furthermore, the physical and mechanical properties of cultured stones were evaluated using standard test methods, including compressive strength, splitting tensile strength, density, water absorption rate, and freeze-thaw resistance. The

experimental results revealed how different production parameters affect the durability and quality of the final product.

This comprehensive approach allowed producers to better understand and improve their processes using both experimental and data-driven methods. Analyzing data collected from the production line helped build predictive models to detect potential issues in advance. This proactive approach reduced production losses and offered significant advantages in terms of quality assurance, customer satisfaction, and cost control.

In conclusion, this study demonstrated that machine learning and data augmentation techniques can be effective tools for process control and quality assurance in cultured stone production. However, one limitation is that augmented data still remains close to the original training data, which may restrict model generalization. In the future, integrating these methods with real-time monitoring systems and autonomous control mechanisms will contribute to the development of smart manufacturing systems in line with Industry 4.0 goals.

These data-driven and automated methods not only improve cost efficiency but also support environmentally responsible industrial practices. Enhancing production quality and reducing reprocessing rates in cultured stone manufacturing can be achieved by carefully monitoring each stage of the process. Specifically, the demolding and drying phases are critical, as temperature, humidity, and duration must be precisely controlled. Otherwise, the internal structure of the concrete may not cure properly, resulting in decreased strength.

Dimensional accuracy and surface quality are also evaluated through visual inspections at the end of the production line. Defects such as bubbles, cracks, and contamination are detected, and defective products are removed. This is essential for customer satisfaction, especially in exterior cladding applications where visual consistency is key. Therefore, keeping the molds clean is critical. Contaminated or deformed molds can negatively affect both the appearance and strength of the products.

The integration of data science and artificial intelligence into industrial processes has gained increasing importance in recent years. The machine learning models and data augmentation methods used in this study can be applied not only to cultured stone production but also to various manufacturing fields. These technologies are also useful in factory automation, predictive maintenance, and energy efficiency monitoring. Especially for small-scale manufacturers, such technologies offer opportunities to enhance productivity and accelerate growth.

The contribution of data augmentation to production quality is not limited to improving the accuracy of statistical models. It also helps systems with limited data to learn faster, handle outliers, and reduce the effects of data imbalance. Since it is not always possible to observe all scenarios in real-life production environments, synthetic data generation allows for simulating potential conditions in advance. This enables production systems to be tested and prepared for unexpected situations.

The application section of this study also provided suggestions on how augmented models can be implemented in the production line. It was proposed that data collected from integrated sensors can be transmitted to the model in real time, allowing operators to be alerted or enabling the system to adjust itself automatically.

This would help minimize human error, maintain quality standards, and maximize production efficiency.

Finally, the methods discussed in this study support the vision of sustainable manufacturing. By predicting breakages in advance, reprocessing rates can be reduced, thus minimizing material waste and energy consumption. This results in reduced carbon emissions, lower labor costs, and significant environmental and economic benefits. These improvements offer not only short-term operational gains but also long-term advantages for corporate sustainability and environmental responsibility.

This holistic approach to cultured stone production combines data science, materials science, and industrial engineering, offering an interdisciplinary solution model. Especially in developing industrial regions, such innovative approaches are essential for local manufacturers to gain competitive advantages. As similar studies are applied to other sectors, digitalization and automation in production processes will accelerate, supporting Turkey's goals for industrial transformation.





1. GİRİŞ

Son yıllarda, kültür taşı, doğal taşın estetik ve dokusal özelliklerini ekonomiklik, hafiflik ve kolay montaj avantajlarıyla birleştiren çok yönlü bir yapı malzemesi olarak öne çıktı. Özel formüle edilmiş harçların doğal taş ya da özel tasarım kalıplarına dökülmesiyle üretilen kültür taşı, cephe kaplamalarından şömine çevrelerine, vurgulu duvarlardan peyzaj öğelerine kadar iç ve dış mekân uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Otel lobileri, restoran iç mekânları ve konutlarda sıcak, doğal bir atmosfer yaratırken, donma-çözülme döngülerine karşı dayanıklılığı sayesinde dış cephe giydirmelerinde yapı bütünlüğünü korur. Ayrıca mevcut binalarda maliyet etkin restorasyon projelerinde, özgün taş yüzeylerin taklit edilmesi yoluyla tarihi dokuya saygı gösteren çözümler sunması bakımından da önem taşır. Üretim süreci, öncelikle doğal taş prototipinin iki bileşenli poliüretan malzemeye kaplanarak elde edilen ana kalıbın hazırlanmasıyla başlar. Bu kalıpların uygun koşullarda kürlenmesi sonrası, kalıptan çıkarma işlemi ve paketleme aşamaları yarı robotlaştırılmış hatlarda gerçekleştirilir. Agregâ seçimi, pigment oranları ve kürlenme sıcaklığı gibi adımların sıkı kontrolüyle tutarlı ürün kalitesi hedeflenirken, kalıptan çıkarma ve taşınma sırasında mekanik gerilmeler nedeniyle kırılma kusurları hâlâ gözlemlenmektedir. Bu kusurlar, ürün performansını ve tüketici memnuniyetini doğrudan etkiler; bu sebeple kalite güvence süreçlerinin ayrıntılı olarak planlanması zorunludur (Yıldız,2019).

Kırılma oranları üzerindeki kritik proses değişkenlerinin etkilerini sistematik olarak belirlemek ve nicelendirmek için bu çalışmada Deney Tasarımı (DOE) metodolojileri benimsendi. DOE, faktörlerin ana etkileri ve etkileşimlerini keşfetmek için yapılandırılmış bir çerçeve sunarak kaynak kullanımını optimize etmeyi ve kırım oranlarının en aza indirgenmesi için gerekli optimum seviyelerin belirlenmesi hedeflemektedir. Burada, altı adet proses faktörünün iki seviyeli Placker Burman Deney Tasarımı (PB) kombinasyonları oluşturularak deney düzeni kurgulandı, her koşulda kırılma yüzdesi deneysel çıktı olarak kaydedildi. Bu temel deney tasarımı çalışmasının ardından, kırılma oranı tahminine yönelik modeller geliştirildi; Lineer Regresyon ve Random Forest (Rastgele Orman) algoritmalarıyla hem doğrusal hem

de karmaşık etkileşim modelleri oluşturuldu. Model performansını karşılaştırmak üzere R^2 gibi istatistiksel ölçütler kullanıldı. Elde edilen ilk bulgular, her iki modelin de belirli koşullarda yüksek uyum sağladığını ancak veri çeşitliliğinin yetersizliğinin uç değerlerde sapmalara neden olduğunu gösterdi.

Veri kısıtlılığının yol ağtığı bu belirsizliği azaltmak amacıyla, makine öğrenimi süreçlerine iki farklı veri artırma stratejisi entegre edildi: Gauss gürültüsü ekleme ve Bootstrap yeniden örnekleme. Gauss gürültüsü tekniğinde eğitim verisine kontrollü rastgele varyasyonlar eklenerek model genel hata dağılımının yumuşatılması; Bootstrap'te ise farklı alt örneklemelemlerin üretimiyle modelin uç değer duyarlılığının azaltılması amaçlandı. Her iki yöntemin de eğitilmiş modeller üzerinde test edilmesi, R^2 'de anlamlı iyileşmeler sergiledi; özellikle Gauss gürültüsü ve Bootstrap örneklemelemleri, hem LR hem de RF modellerinin genelleme yeteneğini güçlendirdi.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kültür Taşının Tanımı ve Genel Bilgilendirme

Bu bölümde kültür taşının yapısı ve tarihinden bahsedildi.

2.1.1. Kültür taşının tanımı

Kültür taşı, doğada bulunan taşların çeşitli kalıplama yöntemleri ile kopyalanması sonucu insanlar tarafından hazırlanan özel harçların kullanımı sayesinde imal edilen bir yapı malzemesidir. Doğal taşların varlığından yararlanılarak üretilen bu ürün, iç ve dış cephelerde özellikle dekoratif amaçla kullanılmasının yanı sıra yangın dayanımı, ısı yalıtımı, ses izolasyonu gibi çeşitli avantajlara da sahiptir (Britanica, 2024).

Doğal taşlardaki doku ve desenler bire bir taklit edilerek gerçekçi damar yapısı, dokusu ve detayları kültür taşına yansıtılır. Hafif yapısı, dayanıklılığı ve uygulama kolaylığı sayesinde sıkça tercih edilen kültür taşı bulunduğu ortamın atmosferini değiştirerek insanın kendisini doğal bir yerleşkede hissetmesini sağlar. Görsel şöleni, ekonomik olması ve kolay uygulanabilirliği sayesinde kültür taşları modern yapı dekorasyonunda sıkça tercih edilen bir yapı malzemesi haline gelmektedir (Britanica, 2024).

2.1.2. Tarihçesi

19.yy'ın başlarında insanlar yapı imalatlarında yaygın olarak ahşap, demir ve doğal taş kullanmaktaydı. Ahşap ve taş, doğal ortamda kolayca temin edilebilen malzemelerdi ve dönemin mimari ihtiyaçlarını karşılayabiliyordu. Demir ise asırlardır insanların hayatında yer alan bir malzemeydi. Temel saldırı ve savunma içgüdülerinden dolayı insanlar demiri kılıç imalatı, zırh imalatı, top imalatı, tüfek imalatı gibi çeşitli alanlarda kullanmayı öğrendiği gibi (TAŞÇI, 2017), demiri hayatlarında farklı yapı malzemeleri olarak da kullanmayı başardılar. İnsanoğlu denizcilikte zincir ve çapa gibi imal aletler imal ettiler. Hayatlarındaki tüm ihtiyaç

duydukları alanda demire şekil verdiler. Gelişen mimari ihtiyaçlardan dolayı demiri inşaat sektöründe kullanmayı öğrendiler (Kurugöl, 2015).

Bu dönemde ülkemizde inşa edilmiş saraylarımızdan birisi olan Beyler Beyi Sarayı'nın tarihini incelendiğinde bölgede 1832'de inşa edilmiş bir ahşap yapı olduğu ve 1851'de bir yangın sonucu belirli bir kısmının kullanılamaz hale geldiği bilgisi kayıtlarda bulunmaktadır. 1861'de tahta geçen Sultan Abdülaziz'in talimatı ile eski yapı yıkılarak günümüzdeki sarayın inşasına 6 ağustos 1863' başlandı ve 1864'te tamamlandı. İnşa edilen bu yapının temel bileşenleri ahşap, taş, demir, alçıdan oluşmaktaydı (GÖNCÜ, 2006).

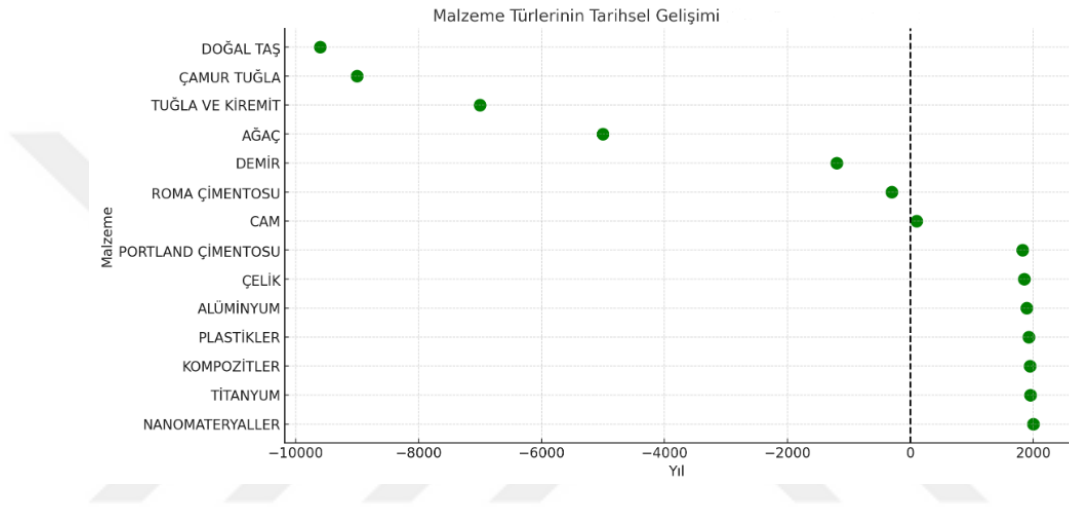
Yine 19.yy'da betonun icadı ile birlikte yapı tekniklerinde rasyonel ekonomik dönüşümler başladı. Joseph Aspdin'in 1824'te icat ettiği Portland çimentosu ve bu malzemenin betonarme yapı inşasında kullanılmaya başlaması günümüzdeki yapılaşmanın temellerini attı (Courland, 2011).

Beton yapıların sunduğu dayanıklılık, yangın direnci ve uzun ömürlülük, yapıların hızla betonarme sistemlerle inşa edilmesine sebep oldu. 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarına gelindiğinde, Amerika ve Avrupa'da betonarme yapılaşma hızla yayılmaktaydı. Bu yapılaşma biçimi, şehirlerde yüksek katlı binaların inşasını mümkün kıldı ve konut yapımında geniş çapta kullanılmaya başlandı. Ancak betonarme yapılar, görsel açıdan doğal taşın atmosferini ve dokusunu sağlayamıyordu (Harris, 2015).

Beton yapılardaki bu düz görünüm, estetik açıdan doğal taş gibi malzemelere olan ilgiyi devam ettirdi, çeşitli kaplama sektörlerinin doğmasını sağladı. Örneğin bu beton yapılaşma doğal taş kaplama sektörünün yanı sıra kimya sanayisinde boya üretiminde çeşitli modernizasyonlara yol açtı. Yapısal düzgünlüğün ve dayanıklılığın sürdürülebilirliği için çeşitli Ar-Ge çalışmaları yapıldı, günümüzdeki silikon lateks ve akrilik boyaların temelleri atıldı (Othmer, 2007).

Özellikle iç ve dış cephe kaplamalarında doğal taş kullanımının tercih edilmesi, betonarme yapılara sıcak bir görünüm kazandırmak için insanların tercihi haline gelmeye başladı. Ancak doğal taş, ağırlığı ve çıkarma maliyetleri nedeniyle her projede kullanılabilir bir malzeme değildi (Çelik, 2003). İşte bu noktada kültür taşı, doğal taşın estetiğini sunan daha hafif ve ekonomik bir alternatif olarak öne çıktı.

50’li yıllarda insanlar doğal taşların doku ve renklerini taklit eden hafif agregalar, çimento ve pigmentlerle kültür taşı üretmeye başladı. Kültür taşlarını betonarme yapıların estetik eksikliklerini gidermekte ve doğal taşın sağlamlık, dayanıklılık ve estetik özelliklerini ekonomik bir çözüm olarak sunmakta başarılı oldu. Bu taşlar, dış cephe kaplamalarında, iç mekan dekorasyonunda, bahçe düzenlemelerinde ve çeşitli mimari projelerde kullanıldı. Doğal taşın sıcaklığını modern betonarme yapılara katmak isteyen mimarlar ve tasarımcılar için kültür taşı, bugün dünyanın dört bir yanında tercih edilen bir yapı malzemesi haline geldi (EZER, 2024).



Şekil 2.1. Yapı Malzemelerinin Kronolojik Grafiği

2.1.3. Doğal taşlardan farkları

Kültür taşı ve doğal taş, görünüşte benzer olsa da yapı ve kullanım amaçları açısından farklılık gösterir. Kültür taşı, doğal taşın ağırlık ve maliyet gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmak için çimento, hafif agrega ve pigmentler kullanılarak üretilir. Bu yapay taş, doğala benzer bir estetik sunarken daha hafiftir, montajı kolaydır ve ekonomik bir çözümdür. Doğal taş ise çıkarma ve işleme maliyetleri yüksek, daha ağır ve bakım gerektiren bir yapı malzemesidir (Yıldız, 2019).

2.2. Malzemeler ve Bileşenler

Kültür taşı, doğada bulunan taşların estetik özelliklerini taklit eden, ancak üretim süreci sayesinde daha hafif, daha uygun maliyetli ve çeşitli uygulamalara uygun hale getirilen sentetik bir yapı malzemesidir. Kültür taşı, dış mekanlarda ve iç mekanlarda

dekoratif amaçlarla yaygın bir şekilde kullanılır, hem doğal taşların görünümünü sunar hem de uygulama ve taşıma açısından avantajlar sağlar. Bu malzemenin üretiminde kullanılan hammaddeler, taşın hem estetik özelliklerini hem de fiziksel dayanıklılığını etkileyen çeşitli bileşenlerden oluşur.

2.2.1. Çimento

Çimento, inşaat sektöründe en yaygın kullanılan bağlayıcı maddelerden biridir ve özellikle betonun temel bileşeni olarak bilinir. Çimento, suyla reaksiyona girerek sertleşen ve yapı elemanlarını birbirine bağlayan bir malzemedir (Gladkov, 2018). Çimento, esas olarak kalsiyum silikatlar, alüminatlar ve ferritler içeren inorganik bir bağlayıcı malzemedir. Su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonlar sonucunda sertleşir ve yüksek mukavemetli bir yapı oluşturur. Çimento, betonun, harcın ve sıvanın üretiminde kullanılır. Özel bir kullanım alanı olmayan, en sık karşılaştığımız ve bugün de yaşamlarımızı sürdürdüğümüz yapıların inşasında portland çimentosu ve beyaz çimentolar kullanılmaktadır. Portland çimentosu modern inşaatlarda sıklıkla tercih edilen çimento türüdür. Kalsiyum silikatlar başta olmak üzere, içerdiği bileşenler sayesinde betonun yüksek mukavemetini sağlar. Beyaz çimento Portland çimentosunun beyaz versiyonudur. Pigment ve organik maddelerden arındırılmıştır, bu nedenle özellikle estetik amaçlı kullanılmaktadır (Özdemir, 2006).

2.2.2. Kum

Beton; çimento, su, kum ve agrega gibi bileşenlerin karışımından oluşur. Beton yapımında kullanılan kum, betonun ana bileşenlerinden biridir ve betonun fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler. Betonun dayanıklılığını, işlenebilirliğini ve mukavemetini artırır. Beton yapımında kullanılan kumu 2 ana kaleme ayrılmaktadır. Doğal kum ve kırma kum (Reddy, 2007). Doğal kum nehirlerden, denizlerden veya göletlerden çıkarılan kumdur. Akar sulardaki akışın ve denizdeki dalgaların etkisiyle hareket etmesinden dolayı yüzeyi sürekli aşınmaya uğramaktadır. Bu yüzden pürüzsüz, yuvarlak ve düzgün yüzeyli taneciklerden oluşur. Bu özellikleri nedeniyle işlenmesi daha kolaydır ve beton karışımına iyi uyum sağlar. Kırma kum ise taş ocaklarında büyük kayaların kırılması sonucu elde edilen kumdur. Bu tür kum genellikle daha pürüzlü yüzeylere sahip olan, daha keskin kenarlı taneciklerden oluşur. Bu, kırma kumun betonun dayanıklılığını artırmada avantajlı olmasını sağlar, ancak işlenebilirlik açısından doğal kumdan daha zordur.

Kumun yıkanması, kumun saflaştırılması için önemlidir. Yıkama işlemi ile birlikte klorürler, sülfatlar, karbonatlar, bikarbonatlar ve organik asitlerden kumun arındırılması amaçlanmaktadır. Yıkama işlemi, kumdaki yabancı maddeleri uzaklaştırarak istenen saflık derecesini elde etmeyi sağlar. Organik maddelerin uzaklaştırılması, tuz ve klorürlerin temizlenmesi, kilden ve ince tanelerden arındırması, kimyasal kirliliklerin giderilmesi, homojenlik sağlanması, toz ve diğer katkı maddelerin temizlenmesini sağlar. Bu sayede betonun bağlayıcı özellikleri artarak stabilitesi yüksek bir ürün elde edilmesi sağlanmış olur (Hilal, 2016).

2.2.3. Ponza

Ponza terimi İtalyanca bir sözcüktür. Değişik dillerde farklı olarak adlandırılır. Türkçede ise süngertaşı, nasır taşı, topuk taşı, haşır taşı, gibi adlarla da anılmaktadır (Özkan, 2001).

Ponza volkanik faaliyetler sonrasında oluşan boşluklu, silikat esaslı, süngerimsi görünümlü bir kayadır. Genellikle açık renkli olup kirli beyazdan griye, kırmızı ve kahverenginden siyaha kadar çeşitli renklerde bulunabilir (Eroğlu, 2020). Oluşumu sırasında, bünyesindeki gazların aniden ortamdan uzaklaşmasıyla bol gözenekli bir yapıya sahip olur. Gözenekler arası bağlantısız olduğundan geçirgenliği düşük, ısı ve ses izolasyonu oldukça yüksektir. Bu özelliği ponzanın inşaat sektöründe hafif yapı malzemesi olarak kullanılmasının en önemli nedenidir.

Ponza çok düşük yoğunluğa sahiptir. Volkanik bir cam köpüğü gibi davranan pomza, gözenekli ve amorf yapısından dolayı yoğunluğu 0,5 - 2 gr/cm³ arasındadır (Eroğlu, 2020). Bu da onu hafif yapı malzemesi üretimi için ideal kılar. Hafifliği sayesinde betonda hacim oluşturur ve buna nazaran ağırlığının düşük olması sayesinde yapısal yük dayanımına etkisi düşüktür. Düşük maliyetlidir, bu da büyük ölçekli projelerde ekonomik çözümler sunar. Ponzanın özellikleri ve kullanım kolaylığı, onu inşaat sektöründe kullanışlı bir malzeme haline getirmiştir. Hafifliği, yalıtım özellikleri ve çevresel faydaları, modern inşaat projelerinde sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

2.2.4. Katkı maddeleri

Betonun özelliklerini iyileştirmek veya belirli bir ihtiyacı karşılamak amacıyla, çimento, su, agrega gibi temel bileşenlerin yanı sıra betona eklenen kimyasal ya da mineral bileşenlerdir. Bu katkı maddeleri, betonun işlenebilirliğini artırmak,

dayanıklılığını iyileştirmek veya özel performans özellikleri kazandırmak için kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasala göre betonun priz alma (sertleşme) süresini hızlandırmakta veya geciktirmektedir. Kalsiyum nitrat, kalsiyum format, kalsiyum klorür gibi bileşikler prizlendirmeyi hızlandırdığı gibi şeker türevleri, glikozlar, sakrozlar, boratlar ve siratlar da prizlenmeyi geciktirir. Su, kimyasal maddeler ve hava koşullarına karşı direncini artırır, basınç, çekme ve eğilme dayanımını artırır, çatlama riskini azaltır ve hacim değişikliklerini kontrol eder (Erdoğan, 2004).

2.2.5. Su iticiler

Beton yapıların dayanıklılığı, çevresel etkenlere ve suya karşı korunmasıyla doğrudan ilişkilidir. Silan, siloksan, alkil silan ve alkilsiloksanlar sıklıkla tercih edilen su itici kimyasallardır. Su itici malzemeler, betonu suyun zararlı etkilerinden koruyarak kullanım ömrünü uzatmayı ve bakım maliyetlerini azaltmayı hedeflemektedir. Bu malzemeler, betona yüzeysel ya da bütünsel olarak uygulanmaktadır. Su itici malzemeler, beton yüzeyine uygulanarak ince bir film tabakası oluşturur ve suyun betona nüfuz etmesini önler. Betondaki mikroskobik gözenekleri doldurarak suyun içeri girmesini fiziksel olarak engeller. Ancak bu malzemeler genellikle su buharına karşı geçirgendir, bu da betonun nefes almasına olanak tanır. Bazı su itici malzemeler, beton içinde kristalleşerek veya kimyasal bağlar oluşturarak su geçirimsizliği artırır. Suya bağlı çatlakları ve korozyonu önler. Beton yüzeyde kir ve yosun oluşumunu azaltır. Su itici malzemeler, yüzeylerin temizliğini kolaylaştırarak temizlikte kimyasal kullanımını azaltır (Ağca, 2019).

2.2.6. Pigment boyalar

Beton pigment boyaları, betonun estetik değerini artırmak ve özel tasarımlar oluşturmak amacıyla kullanılan renk verici malzemelerdir. Beton boyalarında kullanılan pigmentlerin renk tonları, içeriklerindeki kimyasal bileşiklere göre değişmektedir. Demir oksitler, en yaygın kullanılan pigment grubudur ve oldukça dayanıklıdır. Demir oksit kırmızı rengi verir. Betona tuğla kırmızısı veya pas tonlarında zengin kırmızı tonlarını verirken, demir oksit hidrooksit altın sarısı ve hardal tonlarında bir renk sağlamaktadır. Demir siyah oksit ise koyu gri ve siyaha yakın tonlar üretir, genellikle diğer pigmentlerle karıştırılarak ara tonlar elde etmek için kullanılır. Krom oksit yeşil canlı ama doğal görünümlü, mat yeşil tonlar verir; özellikle dış mekanlarda tercih edilir çünkü UV ve kimyasal etkilere karşı oldukça

dirençlidir. Kobalt alüminat, nadir ve pahalı bir pigmenttir ama parlak, yoğun mavi renk üretir. Daha ekonomik mavi seçenek olan ultramarin mavisi, morumsu-mavi bir ton sunar fakat alkali ortamlarda solmaya karşı daha hassastır. Titanyum dioksit parlak beyaz bir pigmenttir ve genellikle baz renk olarak kullanılır; diğer pigmentlerle karıştırıldığında tonları açmak için tercih edilir. Manganez dioksit kahverengi tonları verirken, karbon siyahı çok koyu ve derin siyah üretir; bu pigment özellikle zemin ve dış cephe uygulamalarında kullanılır. Tüm bu pigmentler genellikle betonun rengini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda dekoratif ve estetik etkiler oluşturarak yapı elemanlarının görünümünü zenginleştirir.. Bu pigmentler kırmızı, sarı, kahverengi gibi renkler sağlar Pigmentler, beton karışımına doğrudan eklenmekte veya kültür taşı imalatında olduğu gibi yüzeysel olarak uygulanmaktadır. Toz, granül ve sıvı formda temin edilmektedir (Karagüler, 2013).

2.3. Üretim Süreci

Kültür taşı üretim süreci, kopyalanmak istenilen doğal taşın veya özel olarak tasarlanmış dekorun kalıplanması süreci ile başlar. Bu süreçte kültür taşı imalatçıları doğal ortamdan esinlendikleri ürünleri kopyalar ve doğal ortamdan kopyalanacak ürünü tedarik ederler. Bu aşamadaki taş tedarik süreci taş ocaklarından olduğu gibi zaman zaman yayla, ova akarsu gibi doğal ortamdan da tedarik edilmektedir. Doğal ortamda dokusu beğenilen kaya parçaları kimi zaman kalıplanamayacak ve taşınamayacak kadar büyük olmaktadır. Bu süreçte keski, balyoz, krika, manivela gibi ilkel aletler ile kaya parçalanarak taşınabilir hale getirilir ve kalıphaneye taşınır.

Kalıphaneye getirilen kaya parçaları su destekli taş kesme makinaları ve diğer el aletleri ile beraber üretilmesi istenilen dokunun boyutlarına indirgenir. Bu sayede kopyalanmak istenilen taşın modeli oluşturulmaktadır. Daha sonrasında bu taşlar üretim hattının şekline göre tasarlanmış olan ana çerçevelerde kalıplama işlemine geçilir. Belirli tolerans aralıkları ile kalıplara yerleştirilen taşların üzerine çift komponentli poliüretan (PU) kalıp malzemeleri dökülür ve kürlenmeye bırakılır. Kürlenme süresi tamamlandıktan sonra donmuş PU kalıp çerçeveden ayrılarak döküm yapılacak kalıp haline gelir (Sakarya, 2016).

Üretimi tamamlanan PU kalıplar üretim hattındaki kalıp yükleme ünitesine getirilir. Üretimin başlayacağı bu aşamada ilk olarak kalıplar, dökümü tamamlanmış taşların kalıptan ayrılmasını kolaylaştıracak kalıp ayırıcı kimyasallar ile yıkanmaktadır. Bu

sayede kürlenme süreci tamamlanmış nihai ürünün kalıptan çıkarılması kolaylaşır ve kalıba zarar vermesi engellenir. Kalıp ayırıcı kimyasallar uygulanmış PU kalıplar hat boyunca devam ederek ilk olarak renklendirme işlemine tabi tutulur. Bu aşamada üretilen ürünün reçetesine uygun olarak hazırlanmış boya pigmentleri  imento ve su ile birbirine harmanlanarak renkli ve akışkan bir  imento karışımı elde edilir. Bu karışım otomotiv kaportacılarında kullanmış olduğu özel p t r tabancaları ile kalıba püskürtülür ve dökülecek betonun  n yüzeyinde istenilen renklerde tonlamalar oluşturulur. Boya işlemi biten kalıplar tekrardan hattı takip ederek, kum,  imento, ponza ile hazırlanmış harç ile doldurulur. Daha sonra sıyrıcılar yardımı ile kalıpların üzerindeki fazladan harç alınarak dökümü tamamlanmış PU kalıplar hattın sonunda kalıp toplama makinesi sayesinde üst üste dizilerek sıralanır.

Bir forklift yardımı ile sıralanan kalıplar makineden indirilerek kurutma fırınlarına alınır. Bu süreçte fırınlar dökümü yapılan ürünlerin kürlenmesi için uygun şartları oluşturmakla görevlidir. Havalandırma  nitelerinin içerisinde bulunduğu bu fırınlar ortalama 36-42 C ve %50-65 nem aralığında bulunur ve sürekli bir sirkülasyon içerisindedir. Bu sayede sıcaklığın ve nemin fırının tüm katmalarında eşit olarak dağılması sağlanmaktadır. Bu süreç kritik bir rol oynamaktadır, zira su beton için vaz geçilmez bir bağlayıcı bileşiktir. Su fazlalığı betonun dayanımını d ş rd ğu gibi eksik olması da dayanımı düşürmektedir (A tcin, 2016).

Betonun donma süreci dıştan içe doğru gerçekleşir. Betonun dış yüzeyi katılaşmaya çekirdekten önce başlar, i  kısımlar daha geç kurumaktadır. Aynı şekilde kültür taşı da dıştan içe doğru kuruma eğilimindedir. Kurutma fırınına alınan kalıplar kalıp söküm işleminin yapılabilmesi için 12 ile 24 saat arasında kurumaya bırakılır. Bu s renin miktarı betonun kalıptan çıkarılabilecek kadar kuruması için oldukça önemlidir. Yeteri kadar kurumayan kültür taşları kalıptan çıkartılırken kırılmaktadır. Bu s renin miktarına bağlı, çok kısa sürede sökülen taşlarda betonun merkezine doğru akışkanlık tespit edilmiştir. Benzer şekilde sürecin çok uzun olması da tam kurumaya sebebiyet verdiği için betonun içerisinde yeteri kadar su bulunmamaktadır. Su prizlenme sürecine doğrudan etki etmektedir ve fazlasının sürece zararı olduğu gibi eksik kalmasın da zararları vardır. Uygun şartlarda prizlenemeyen betonlar yeterli dayanımı gösteremediği için kalıptan söküm işlemlerinde kırılma gözlemlenmektedir.

Söküm süreci fırından çıkartılan kalıpların söküm makinesi istiflerine dizilmesi ile başlar. İstiflere dizilen kalıplar bir dizi işlemlerden geçer. Bu işlemler esnasında kalıplar bir robot sayesinde ters çevrilir devamında merdane şeklinde 2 fırçanın arasından geçerek kalıptan ayrılması sağlanır. Kalıp tekrardan bir robottan geçerek doldurma şekli üst kısımda kalacak şekilde düzeltilir. Söküm hattını boylu boyunca takip ederek boşaltma istifine doğru harekete geçer ve toplama robotu kalıpları üst üste dizmeye başlar. Bir diğer yanda kalıptan sökülen taşlar konveyör üzerinde harekete devam etmektedir. Hattın sonunda bulunan personeller beden gücü ile taşları paletlere dizerler ve paletler açık alanda tam prizlenme süresinin tamamlanması için beklemeye alınır.

Tam prizlenme süreci tamamlanmış paletler forklift yardımı ile paketlenme bölümüne alınır. Prosesin devamında daha önceden hazırlanmış kolilere taşları yerleştirme işlemi başlamaktadır. Kolileme ve renk dağılımı süreci, kültür taşı üretiminde kaliteyi ve görselliği etkileyen kritik bir adımdır. Bu proseste özel hazırlanmış karıştırma oranları bulunmaktadır. Doku ve renkler nihai ürünün görselliği için belli oranlarda paketlenmelidir. Aksi taktirde iyi harmanlanmayan ürünler uygulama esnasında da görsel kusurlara sebebiyet vermektedir. Cephede belirli bir görüntünün tekrarına neden olur ve görsellik açısından zayıf kalmaktadır. Bu durumu engellemek için kalıp çeşitliği oldukça yüksektir. Bu sayede aynı taşların üretim olanağı düşürülür ve kutulama sürecine fayda sağlanmaktadır.

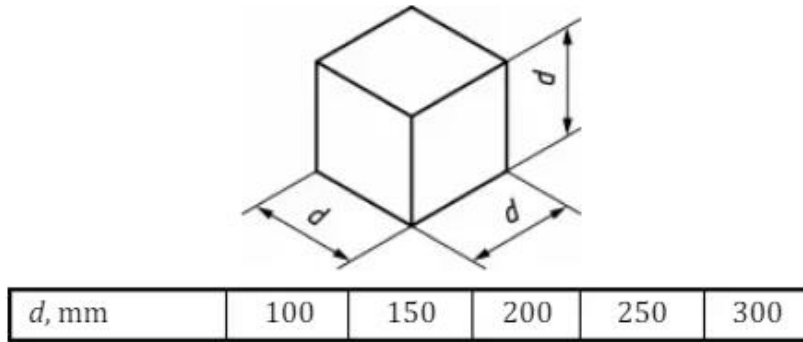
Her bir kolinin ve kolilerin dizildiği paletlerin kendine ait barkodu bulunur. Kutulanan taşlar paletlere dizilir. Koliler paletlere el terminalleri sayesinde okutularak dizilir. Bu sayede paletlere hatalı kolilerin yüklenmesi önlenmiş olur. Paletler sevkiyat birimine teslim edilir. Üretim ve paketleme süreci tamamlanmış nihai ürünler artık sevk edilebilir hale gelmektedir Müşterilerin sipariş miktarına göre ayarlanan araçlar yeniden terminaller ile okutularak araçlara yüklenir. Müşterilere hatalı paletlerin gönderilmesi engellenmektedir. El terminalleri ve barkodların okutulması sayesinde ise bu süreç takip edilebilir bir biçimde devam etmektedir.

2.4. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

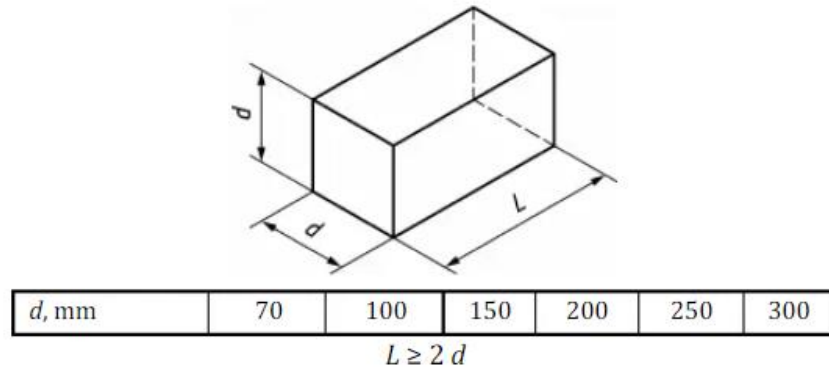
Kültür taşlarının üretimde kullanılan malzemelere bağlı olarak çeşitli fiziksel ve mekanik özellikler göstermektedir. Bu taşlar çimento, ponza, kum ve özel pigmentler

ile üretilir. İçerdiği hammadde oranına göre basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kuru birim hacim kütlesi, su emme oranı birbirinden farklılık göstermektedir.

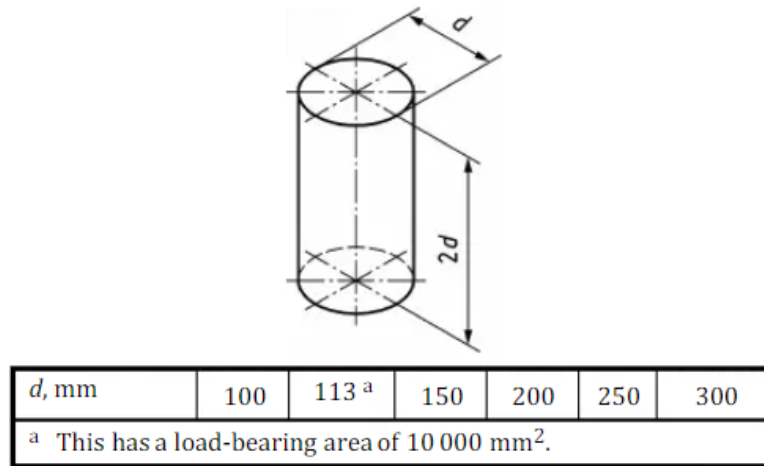
Deney sonuçlarının doğruluğu için numunelerin uygun şartlarda hazırlanması gerekmektedir. Beton karışımı, TS EN 12390-2 standardına uygun olarak hazırlanmalı ve uygulanacak teste göre kalıplara dökülmelidir (TS12390-1 2021). Standartlara uygun kalıpların ölçüleri Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te belirtilmiştir. İlk olarak, beton yapımı için gerekli malzemeler (çimento, su, agregalar ve katkıları) istenilen oranlarda karıştırılır ve homojen bir karışım elde edilir. Karışım, önceden uygulanacak testlere uygun bir şekilde hazırlanmış kalıplara dökülür. Beton dökülme işlemi sırasında hava boşluklarının önlenmesi amacıyla vibratör kullanılmaktadır veya elle sıkıştırma işlemi yapılır (TS EN 12390-2). Numune alındıktan sonra Şekil 2.5'te belirtildiği gibi üzeri ıslak bez veya naylonla örtülerek ilk sertleşme süresi için beklemeye alınmalıdır. Numune, ilk sertleşme süresi için 16 saatten az, 3 günden daha fazla olmamak üzere kalıplarında bekletilir ve ardından kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca suyla dolu bir ortamda, genellikle $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve %95 nem oranında kürlenir (TS802-2016).



Şekil 2.2. Numune Kalıp Ölçüleri



Şekil 2.3. Numune Kalıp Ölçüleri



Şekil 2.4. Numune Kalıp Ölçüleri



Şekil 2.5. Kürlenme Sürecine Hazırlanmış Numunelerin Son Hali



Şekil 2.6. 28 Günlük Su Banyosu

2.4.1. Basınç dayanımı testi

Basınç dayanımı testi betonun dayanımını belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Yapı malzemesi olarak betonun kalite kontrolünde önemli bir referans olarak kabul edilmektedir. Bu teste göre, beton numuneleri belirlenen boyutlarda hazırlanır. Basınç dayanımı testi için en sık kullanılan numune boyutları 150x150x150mm küp, 100x100x100mm küp ve R150x300H mm boyutlarında silindirdir. Testin amacı, yapısal betonun güvenilirliğini ve dayanıklılığını değerlendirmektir (Ünsal, 2008).

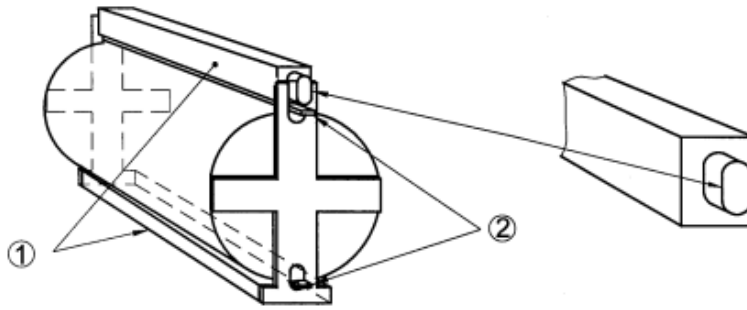
Deney numunesi, yükleme işlemine başlamadan önce yüzeyindeki fazla su kurulanmalı, deney makinasının yükleme başlıklarının yüzeyleri temizlenmeli ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan gevşek çıkıntı veya taneler giderilmelidir. Yükleme sırasında, numune ile makinanın yükleme başlığı arasında yalnızca aralık ayarlama blokları (EN 12390-4) ve ilave plakalar kullanılmalı, başka yerleştirme parçalarına yer verilmemelidir. Küp numuneler, yük uygulama yönü beton dökümüne dik olacak şekilde konumlandırılmalı ve makina üzerindeki alt yükleme başlığına belirtilen boyut veya çapın $\pm\%1$ doğrulukla merkezlenerek yerleştirilmelidir. İlave yükleme plakaları kullanıldığında, bunlar numunenin alt ve üst yüzeylerine uygun şekilde ayarlanmalıdır. Eğer kullanılan deney makinası iki kolonlu ise, küp numuneler mastarlanmış yüzeyi kolona bakacak şekilde yerleştirilmelidir (TS EN 12390-3).

Makineye yüklenen küp numuneleri 0,2 MPa/s (N/mm² .s) - 1,0 MPa /s (N/mm² .s) arasında sabit bir yükleme hızı seçilir. Yük, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, $\pm \%10$ 'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmalıdır. Göstergeden okunan en büyük yük kaydedilmelidir (TS EN 12390-3).

2.4.2. Yarmada çekme dayanımı testi

Yarmada çekme dayanımı testi, betonun dolaylı çekme dayanımını belirlemek için kullanılan standart bir yöntemdir. Bu test, silindirik beton numuneler üzerinde gerçekleştirilir ve TS EN 12390-6 standardına uygun olarak yapılır. Testin temel amacı, betonun çekme gerilmeleri altındaki dayanımını ölçerek, çatlama davranışı ve malzeme özellikleri hakkında bilgi edinmektir (TS EN 12390-6).

Testin uygulanması için sıklıkla 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindirik beton numuneler tercih edilir. TS EN 12390-6 standardı bölüm 5.1’de TS EN 12390 -1’e uygun numuneler olması gerektiği belirtilmektedir. Numuneler, 28 gün boyunca standart kür şartlarında kürlenmeye bırakılmaktadır. Test sırasında numune, test cihazının Şekil 2.7’de gösterildiği gibi yatay eksenine dik olacak şekilde, yatay eksen boyunca iki yükleme başlığı arasında yerleştirilir. Çekme gerilmelerinin numunenin eksenine eşit bir şekilde aktarılmasını sağlamak amacıyla, numune ile yükleme başlıkları arasına ince bir kauçuk, mukavva veya yumuşak tahta gibi malzemeler yerleştirilmektedir (TS EN 12390-6).



Şekil 2.7. Yarmada Çekme Dayanımı Çekme Çeneleri

Deney sırasında yükleme hızı, TS EN 12390-6’da belirtilen şekilde 0,04 MPa/s (N/mm² .s) ile 0,06 MPa/s (N/mm² .s) arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmaktadır. Numune, yükleme esnasında eksenine dik doğrultuda çekme gerilmelerine maruz kalır ve bu gerilmeler numunenin yarılmasına neden olur. Numunenin yarıma yükü kaydedilir ve bu yük, silindirin çapı ve uzunluğu dikkate alınarak çekme dayanımı hesaplanmaktadır (Neville, 2011).

Yarmada çekme dayanımı testi, betonun çatlama davranışını ve çekme gerilmesine karşı direncini anlamak için kritik bir testtir. Betonarme yapılar gibi yüksek çekme gerilmelerine maruz kalan yapılarda bu dayanımın önemi büyüktür. Bu nedenle, betonun tasarımı ve performans değerlendirmesi açısından bu test sonuçları önemli bir referans sağlamaktadır. (Gülşahin, 2006)

2.4.3. Yoğunluk testi

Betonun yoğunluğu, birim hacmindeki kütlesini ifade eden bir özelliktir. kg/m³ veya g/cm³ birimlerinde ifade edilmektedir. Betonun yoğunluğunun hesaplanması,

betonun özelliklerini anlamak ve dayanım, ısı iletkenlik gibi mekanik ve termal özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır (Davraz, 2015).

Beton numuneleri, standart boyutlarda küp veya silindirik kalıplarda hazırlanır ve kütleme işlemi tamamlanır. Numunenin hacmi, iki farklı yöntemle ölçülebilir, ilk yöntem numunelerin ölçülmesi ile yapılan hesaptır. Diğer i ise numunenin suya daldırılması sonucu yer değıştiren su miktarından yola çıkılarak ölçülmesi yöntemidir. Daha sonra numunenin kütlesi, hassas bir terazi ile ölçülür.ve yoğunluk hesabına geçilir. Küp numunesinin yoğunluğu, numunenin kütlesinin hacmine bölünmesiyle tespit edilir (TS EN 12390-7).

Betonun yoğunluğunu etkileyen faktörler arasında kullanılan agrega türü, çimento miktarı ve katkı malzemeleri yer alır. Kum pomzaya göre daha ağır olduğu için kum oranı yüksek harçlar daha yoğun bir beton üretimi sağlar. Ağır agregalar kullanılarak yapılan betonlar, daha yüksek yoğunluğa sahip olacak ve bu da daha yüksek dayanım, daha yüksek yarmada çekme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısı gibi özellikleri sağlamaktadır. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenlik kat sayısı da artacak ve ısı yalıtımı konusunda olumsuz sonuçlara sebebiyet verecektir. Buna istinaden, hafif agregalar kullanılarak üretilen beton, düşük yoğunluklu olup, daha iyi ısı yalıtımı sağlar (Davraz, 2015). Düşük yoğunluklu beton, yapıların toplam ağırlığını azaltarak, taşıma ve montaj kolaylığı sağlar. Düşük yoğunluklu betonlar kültür taşı imalatında özellikle talep edilen ürünlerdir.

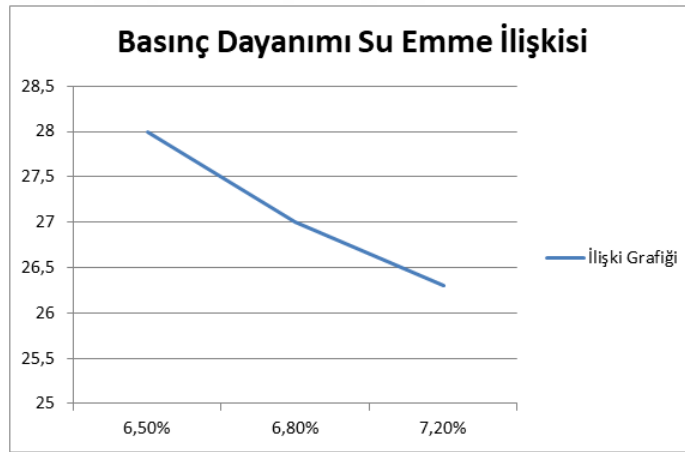
2.4.4. Su emme testi

Su emme testi, betonun gözenekliliğini ve su emme kapasitesini değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır. Gözeneklilik ve su emme özellikleri, betonun dayanıklılığı ve çevresel etkilere karşı performansı hakkında bizlere bilgi verir. (ASTM C642).

Deney numuneleri üzerinde herhangi bir toz ve gevşek kısım kalmayacak şekilde temizlenir. Fırça ve bir bez yardımıyla temizliği yapılan numuneler $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvlere alınarak kurutma işlemleri başlatılır. Etüvden çıkartılan numuneler oda sıcaklığına kadar soğuması beklenir. 24 saat arayla kütlesi ölçülür ve 2 ölçüm arasındaki fark %0,1'den düşük oluncaya kadar devam eder ve en az 3 gün boyunca kurutulur. Farkın %0,1'den küçük olduğu son ölçüm numunenin kuru kütlesi olarak kabul edilir. Kurutma işlemi tamamlanmış numuneler daha sonra, $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki havuza 2 mm ile 10 mm arasında bir derinlikte olacak şekilde

yerleştirilir. Altında hava baloncuklarının oluşmasını önlemek amacıyla numune, bir kenardan başlayacak şekilde batırılmaya başlanır. 24 saatin sonun numune sudan çıkartılır ve nemli bir bez ile kurulandıktan sonra tartılır. İlk tartım işlemi tamamlandıktan sonra numune 25-50 mm arasında bir derinlikte olacak şekilde tekrardan suya batırılır. En az 3 gün suda bekletilen numune sabit bir kütleye ulaşması hedeflenir. 2. Proseslerin uygulandığı numune 24 saat arayla sudan çıkartılarak kütlesi ölçülmeye devam edilir ve 24 saatlik süredeki kütle değişimi %0,1'den daha az oluncaya kadar numune havuzda tutulmaya devam edilir. Doygun su emme safhasına ulaşmış numuneler havuzdan çıkartılır ve nemli bir bezle kurulandıktan sonra son tartımları yapılır. Bu ölçüm su ile doymun hale getirilmiş numunenin kütlesi olarak kabul edilir (TS EN 13748-2).

Düşük su emme oranına sahip betonlar daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Bunun nedeni, düşük su emme oranının betonun daha yoğun ve daha az gözenekli olmasından kaynaklanmaktadır. Gözeneklilik oranı düşük olan betonlar, daha güçlü bir bağ yapısına sahiptir ve yük taşıma kapasitesi artar. Dolayısıyla basınç dayanımı da daha fazladır. Şekil 2.8'de TSE'ye gönderilen su emme testi sonuçları ve basınç dayanımı grafiği verilmiştir.



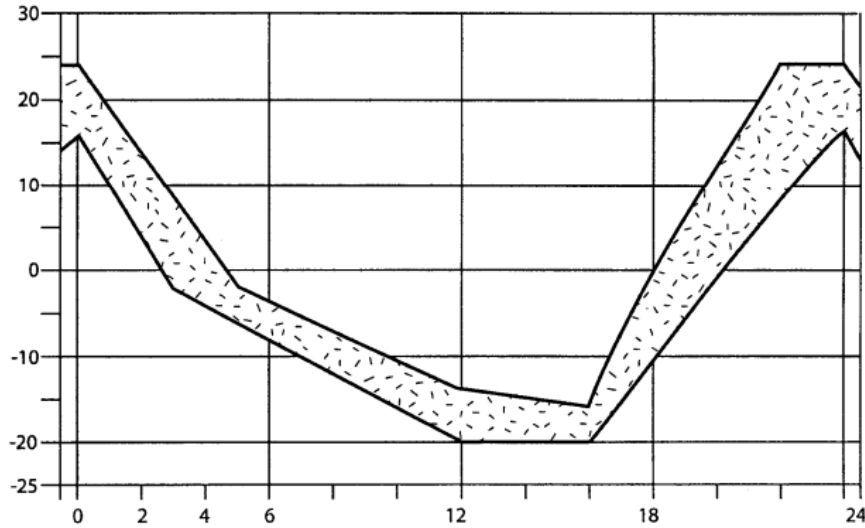
Şekil 2.8. Basınç Dayanımı Su Emme İlişkisi

2.4.5. Hava etkileri nedeniyle yıpranmaya karşı direnç testi

Beton malzemelerin dış ortam koşullarına (donma-çözülme döngüsü, sıcaklık değişimleri) karşı dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla yapılan bir testtir. Bu test, malzemenin hava koşulları nedeniyle zaman içinde oluşabilecek fiziksel yıpranmaya karşı direncini belirlemek için kullanılır. Donma-çözülme döngüsü meydana

geldiğinde betonun iki tür bozulmaya uğrama riski vardır, yüzeydeki pullanma ve iç yapısal hasar (TS EN 12390-9). Bu test ile sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan genleşme ve büzülme davranışını, hava ve su etkisiyle oluşabilecek çatlaklara karşı dayanımını ölçmek amaçlanmaktadır. Bu testle, yapı malzemelerinin dayanıklılığı değerlendirilerek uygun olmayan malzemeler elenir veya gerekli iyileştirme yöntemleri belirlenir.

Test için hazırlanan küp numuneleri uygun kür koşullarında olgunlaştırılır(28 Gün boyunca kür havuzunda bekletilir). Teste başlamadan önce numuneler, suya doygun hale getirilmek üzere 72 ± 2 saat boyunca $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta saf su içerisinde bekletilir. Bu işlem, donma sırasında beton içerisinde suyun genleşme etkisini doğru bir şekilde ortaya koymak için gereklidir. (TS EN 13748-2).



Şekil 2.9. Donma Ve Çözünme Sıcaklık Grafiği

Yüksek gözeneklilik oranına sahip malzemeler donma sırasında suyun genleşmesiyle daha fazla zarar görmektedir. Bu tür malzemelerde çatlak oluşumu yaygındır. Su emme oranı yüksek olan ürünler, suyu daha fazla emerek donma sırasında genleşme stresine maruz kalır. Bu da çatlama riskini arttırmaktadır. Daha düşük yoğunluk, malzemenin mekanik dayanımının zayıf olmasına ve iç yapısının kolayca bozulmasına yol açar. Su emme oranı düşük olan ürünler, suyun donma sırasında genleşmesi nedeniyle oluşan zarara karşı daha dayanıklıdır. Yoğun yapılar, donma-çözülme etkilerine karşı daha dirençlidir. Gözenek oranının düşük olması, donma esnasında çatlak oluşumunu engellemektedir. Hava sürükleyici katkılar (Sodyum Lauril Sülfat, Rezin Asitleri, Yağ Asidi Tuzları) betonun içinde mikron boyutunda

hava boşlukları oluşturarak donma sırasında suyun genişmesi için yer sağlamaktadır. Bu sayede malzeme dayanım kazanmaktadır. Kırılmaya yatkın ürünler genellikle gözenekliliği ve su emme oranı yüksek olan malzemelerdir. Buna karşın, yoğun, düşük gözenekli ve hava sürükleyici katkılarla güçlendirilmiş ürünler donma-çözülme döngülerine karşı daha dayanıklıdır. Bu nedenle, yapı malzemesi seçerken kullanım koşullarına uygun ürünler tercih edilmelidir (Şahin, 2003).



3. İŞLETME İÇİ KALİTE KONTROL SÜREÇLERİ

Üretilen ürünlerin fabrika içi kalite kontrol süreci yukarıdaki bölümde belirtilen teknik detayların ve testlerin aksine, insan gözü ile yapılan görsel bir süreçtir. üretim sonrası ürünlerin görsel, boyutsal ve estetik açıdan kontrol edilmesini kapsamaktadır. Bu süreçte, ürünlerin görseelliği, desenleri, renk uyumu ve yüzey kalitesi gibi özellikler değerlendirilir. Gözle kalite kontrol, müşteri beklentilerini karşılayan uygun ürünlerin seçilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu kontrol, ürünün kullanım öncesi olası kusurlarının tespit edilmesini sağlar ve üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine yardımcı olmaktadır.

3.1. Yüzey Kalitesinin Kontrolü

Yüzey kalite kontrolü, kültür taşlarının yüzey özelliklerini değerlendirmek için yapılan sistematik bir kalite prosesidir. Bu süreç kalıp söküm işleminden başlayarak ürünün kutulama sürecine kadar devam etmektedir. Ürünün estetik görünümünün yanı sıra fiziksel dayanımını da etkileyen faktörlerin analizini içermektedir. Ürünün yüzeyinde oluşabilecek çatlaklar, hava kabarcıkları veya yabancı madde kalıntıları görsel olarak incelenir. Bu kusurlar, döküm sırasında malzemenin düzgün karışmamasından veya vibrasyon eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

Beton içerisindeki su henüz buharlaşmadan ya da beton içindeki hava dışarı çıkmadan beton yüzeyinde bitirme işleminin yapılmasından dolayı meydana gelir. Yüzey betonu dayanıksız bir haldedir. Nemin düşük olduğu ve sürekli hava akışına maruz kalan ortamlarda sıklıkla görülür. Beton yüzeyinin hemen altında su ve hava boşlukları oluşur (Engin, 2014). Kusurlu yüzey kalıbın iç kısımlarında kaldığı için bu problem döküm esnasında gözle farkedilemez. Bu durumu önlemek için beton vibrasyona maruz bırakılır. Vibrasyon doğru orantıda uygulandığında harcın sıkışmasını sağlayarak hava boşluklarının doldurulmasını sağlar. Vibrasyonun fazla olduğu durumlarda ise homojenizasyon bozulmaktadır. Hafif agregaların yüzeye çıkmasına ağır bileşenlerin ise çökmesine neden olur (Gülşahin, 2006).



Şekil 3.1. Kabarcıklanma Oluşan Bir Taş Örneği

Betonlar farklı sebeplerden dolayı çatlamalara maruz kalmaktadır. Bu örnek olarak basınç dayanımı uygun olmayan betonların yük altında çalışması, homojen karışmamış betonun dökülmesi her yüzeyde farklı bir dayanım göstereceği için dayanıklılığının düşük olması, donma-çözünme döngüleri, alkali silikat bulunan ortamlarda kimyasallar ile tepkimeye girmesi (Mindess, 2003), aşırı sıcaklık değişimi ve kürlenme esansında ani su kaybından dolayı çatlamlar ve kırılmalar gerçekleşir. Özellikle kültür taşı imalatı esnasında görülen durum dökülen harcın ani su kaybetmesi sonucu iç gerilmelerin oluşmasıdır. Bu sebeple ürünler nemli ortamlarda belirli saatlerce kürlenmeye bırakılır ve betonun kuruma esnasında gerekli suyu karşılaması sağlanmaktadır.

Beton, çimento, agrega, su ve gerekli durumlarda katkı maddelerinin doğru oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Yabancı maddeler çeşitli şekillerde beton karışımına girebilir ve buna bağlı olarak farklı sorunlara neden olmaktadır. Bu yabancı maddeler genellikle toprak, kil, organik maddeler, tuzlar, demir oksit veya hafriyat gibi artıklardır. Bunun yanı sıra su içerisinde bulunan elementler, klor, sülfat, organik maddeler, yağ veya asit gibi kimyasal bileşenler ve çimentonun taşınması ve depolanması esnasında toz, metal parçaları veya başka yabancı maddeler beton karışımına dahil olmaktadır. Ayrıca şantiye ortamında beton karışımına toz, yaprak, plastik veya inşaat artıkları gibi yabancı maddeler girmektedir. Bahsedilen bu ihtimaller beton dayanımına ciddi zararlar verir. Beton içerisinde dayanıklılık ve mukavemet kaybına, işlenebilirlik problemlerine, korozyon ve çatlamalara, kimyasal reaksiyonlara neden olur. Bu durumu önlemek amacıyla Betonun bileşenlerinde kullanılacak malzemelerin kalite kontrolü düzenli olarak

yapılmalıdır. Agregalar temizlenmeli ve kullanılacak alana testlerden geçirilmelidir. Agregalar yıkanmadan kesinlikle kullanılmamalıdır. Su, içme suyu kalitesinde olmalıdır. Artezyen kaynaklardan çıkartılarak kullanılan sular gerekli testlerden geçirilmeli ve içerisindeki bileşik oranlarına göre gerekli onaylar alınmalıdır. Aksi taktirde betonda yıkıcı kimyasal reaksiyonlara sebebiyet vermektedir. Beton üretim ve döküm sırasında karışıma dışardan yabancı maddelerin girmesini önlemek için dikkatli bir çalışma yapılmalıdır. Agregalar eleklerden geçirilerek kullanılmaya özen gösterilmelidir. Bu sayede yabancı maddeler eleklerde takılı kalır ve temiz, homojen bir karışım için gerekli şartlar sağlanmış olur. Betonun kalitesi ve dayanıklılığı, kullanılan malzemelerin saflığına bağlıdır. Yabancı maddeler, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumsuz etkileyerek kısa ve uzun vadede ciddi yapısal sorunlara yol açar. Bu nedenle, beton üretiminde malzeme seçimi, kalite kontrol ve şantiye yönetimi büyük önem taşımaktadır. Kaliteli bir beton üretimi için bu faktörlere özen gösterilmelidir (Bedirhanoğlu, 2013).

3.2. Ölçü Kontrolü

Kültür taşı üretiminde ölçü kontrolleri, ürünün standardizasyonuna uyumluluğunu sağlamak, görsel ve fiziksel uyumu temin etmek için takip edilen önemli bir prosestir. Bu kontroller kalıp imalatı esnasında tam denetim süreci sağlansa da, üretimi esnasında belirli sıklıklar ile yapılır.

Kalıp imalat süreci kültür taşı üretiminde önemli bir maliyet kalemidir. Kalıpların doğru tasarımı ve seçimi, maliyetleri doğrudan etkiler ve çok küçük bir hata bile yüksek başlangıç maliyetleri silsilesine yol açmaktadır. Bu sebeple sürecin doğruluğu ve üretilen kalıpların tasarımı oldukça önemlidir (Yalcinkaya, 2019). Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde artık 3D tarama ve ölçüm teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntem var olan bir nesnenin şeklini ve ölçülerini dijital bir şekilde ölçmek ve modellemek için kullanılır. Bu sayede ürünün ölçü kontrolleri dijital bir şekilde doğrulanmış olur. Yüksek yatırım maliyetlerinden dolayı sıklıkla karşılaşılan bir teknoloji değildir. Hassas işlemler gerektiren sektörlerde kullanım alanları daha fazladır.

Diğer bir yöntem ise geçmişten günümüze süre gelen, belirli sıklıklar ile rastgele seçilen nihai ürünlerin kumpas ve metre yardımı ile ölçülmesi yöntemidir. Daha klasik ve düşük maliyetli olan bu teknik kültür taşı imalatı için gerekli tüm prosesleri

karşılayabilmektedir. Nihai ürünler kontrole tabi tutulur ve istenilen toleranslar içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Belirli sıklıklar ile alınan örneklerin ölçülmesi yöntemine kabul örneklemesi yöntemi denilir. Üretilen ürünlerin içerisinde rastgele örnekler seçilerek yapılan bir örneklem yöntemi. Bu yöntemde her birimin seçilme olasılığı eşittir (Yüzer, 2009). Bu yaklaşım, istatistiksel analizlerde tarafsız ve temsil gücü yüksek bir örneklem elde etmek için kullanılmaktadır. Tolerans aralığındaki ürünün ölçümü sayesinde üretim partisi hakkında yorumlar yapılır. Bu sayede herhangi bir aksilik durumunda gerekli önlemler alınarak bir sonraki partide hatalı ürün üretilmesi engellenmektedir.

3.3. Boya Kontrolü

Kültür taşı üretiminde boya kontrol süreci, ürünün estetik değerini ve uzun vadeli dayanıklılığını sağlamaya yarayan önemli bir faktördür. Bu süreç, boya pigmentlerinin hazırlığından başlayarak birçok testten geçer.

Boya için kullanılan pigmentlerin kalitesi ve özellikleri dikkatlice değerlendirilir. MSDS'leri (güvenilirlik bilgi formu) incelenen pigmentlerde öncelikli olarak ultraviyole (UV) ışınlarına dayanıklılık, kimyasal kararlılık ve renk tutarlılığı yüksek pigmentler tercih edilir (Smith, 2018).Örneğin iç cephede kullanılacak kültür taşları güneş ışığına ve yağmur suyuna doğrudan maruz kalmayacağı için UV ve kimyasal dayanımı yüksek pigmentlerin kullanılmasına gerek yoktur. Boya karışımının hazırlanması aşamasında, boya pigmentleri, su ve diğer katkı maddeleri belirli oranlarda birleştirilir. Karışımın homojen bir şekilde dağıldığından emin olmak için belirlenen süre boyunca ve belirlenen hızda karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Her boya partisi, önceden belirlenen renk formülasyonuna göre hazırlanır ve bu formülasyon, tüm üretim boyunca aynı rengin elde edilmesini sağlar. Ayrıca üretim partileri arasında boya farklılıklarının oluşması da bu sayede önlenir. Hazırlanan boya uygulanmadan önce kalıp yüzeyinin uygun şekilde hazırlanması gerekir. Yüzey, boyanın istenilen şekilde dağıtılabilmesi için temizlenir, toz, yağ veya diğer kalıntılardan arındırılır. Bu sayede harca yabancı kalıntıların girmesi de önlenmiş olur. Kalıp yüzeyine uygun kalıp ayırıcıların püskürtülmesinden sonra boyama işlemine geçilir. Uygulama sırasında istenilen tasarıma göre fırça boya, püskürtme, toz pigment atımı gibi çeşitli yöntemler uygulanır. (Koleske, 2012). Boyanan kalıplara harç dökülerek kalıplar kürlenmesi için kurutma fırınlarına alınır.

3.4. Paketleme Kontrolü

Üretimde paketleme ve depolama süreçleri, ürünlerin estetik, yapısal ve fonksiyonel özelliklerini korumak için büyük bir özenle yürütülmektedir. Bu süreçlerin her biri, üretim hattından itibaren başlar ve müşteriye ulaşana kadar devam etmektedir. Ürünlerin taşıma sırasında zarar görmemesi, depo koşullarında bozulmaya uğramaması ve son kullanıcıya kusursuz bir şekilde teslim edilmesi için kullanılan malzemelerden yöntemlere kadar tüm adımlar dikkatle planlanmakta ve uygulanmaktadır.

Paketleme malzemelerinin seçimi, ürünlerin korunmasında belirleyici bir role sahiptir. Ürünlerin kırılmasını, çizilmesini veya birbirine zarar vermesini önlemek için işletmeler tarafından farklı özellikte ürünler kullanılmaktadır. Paketleme sürecinde kullanılan ürünler, şirketlerin üretim stratejisi ve rekabetçi ortamda kalite standartlarının sürdürülebilirliği açısından doğrudan ilişkili maliyetlere sahiptir (İnanoğlu, 2022). Bu yüzden ayırdıkları bütçeler doğrudan kalite ve güvenilirlik politikaları ile ilişkilidir. Paketleme sürecinde oluklu mukavvadan imal edilmiş kutuların, paletlerin ve sandıkların yanı sıra içerisinde taşların birbirine temas ederek veya taşıma esnasında dış etkenlere bağlı darbelere dayanıklılık göstermesi için çeşitli seperatörler ve darbe emiciler kullanılmaktadır. Bu malzemeler köpük, hava kabarcıklı naylon, kraft kağıt, karton, tela gibi darbe emici ve koruyucu malzemelerdir. Ayrıca, ürünlerin düzenli bir şekilde istiflenmesi için ahşap veya plastik paletler tercih edilmektedir. Bu paletler, hem taşıma kolaylığı sağlar hem de ürünlerin düzgün ve sabit bir şekilde yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Barış, 2013).



Karton



Oluklu Mukavvadan Kutu



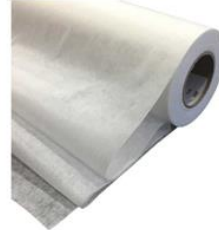
Köpük



Kraft Kağıdı



Hava Kabarcıklı Naylon



Tela

Şekil 3.2. Paketlemede Kullanılan Ürünler

Paketleme sürecinin ilk aşaması, ürünlere üretim hattından çıktıktan sonra yapılan yüzey kontrolleridir. Kültür taşları paketlenirken, paketleme yapan personeller tarafından da yüzeyleri kontrol edilmeye devam eder. Yüzeyler, barındırdıkları kusurlar, çapaklanmalar, delik oluşumları ve çatlaklar açısından incelenir. Bu aşama, istenilen kalite seviyesinin korunması için büyük öneme sahiptir. Belirlenen standartları karşılamayan ürünler ayıklanarak hurdaya ayrılmaktadır. Bu kontrollerin ardından, taşların yüzeyinde eğer varsa; kalan toz, harç artıkları veya üretim kalıntıları özenle uzaklaştırılır. Temiz bir yüzey, hem estetik görünümü iyileştirir hem de paketleme malzemeleriyle daha uyumlu bir temas sağlar. Süre gelen diğer işlem ise arşivlerde üretilen partinin renk kontrolüdür. Renk onayı verilen partilerde renk kontrolleri tecrübeli paketleme personellerince paketleme prosesinde de yapılmaya devam eder. Bu proste kutu içeriğindeki ürünlerin renk dağılımları, kendilerine bilgilendirilen oranca hesaplanarak kutulama işlemi yapılır. Bu sayede kutulara eşit renk dağılımları sağlanır. Montajlanmış cephelerde renk geçişleri ve eşit dağılımlar oluşturulması amaçlanır. Uygun renk oranlarında seçilerek kutulanan taşlar müşteriye sevk edilebilecek konuma gelir ve paletlere dizilerek sevke hazır hale getirilir. Ürünlerin taşıma sırasında kaymasını önlemek amacıyla streç film ile sarılmaları ve plastik çemberlerle sabitlenmeleri sağlanır. Her paketin üzerine ürün

bilgilerini içeren etiketler yapıştırılır. Bu etiketlerde ürün kodu, üretim tarihi, renk, doku ve miktar gibi bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler, ürünlerin sevkiyat sırasında doğru bir şekilde takip edilmesine yardımcı olmaktadır (Eker, 2006).

3.5. Depolama Kontrolü

Kültür taşı üreticileri sıklıkla, stok maliyetlerini ve fazla üretim riskini minimize etmek için sipariş üzerine üretim yöntemini kullanılmaktadır. Nihai ürünlerin müşteriye teslim edilmek üzere araçlara yüklenmesi işlemine kadar, kasaların veya kutular dizilen paletlerin uygun koşullar altında depolaması gerekmektedir. Bu sektörde her ne kadar sipariş üzerine üretim stratejisi geliştirilse de zaman zaman stoğa ürün girişi yapılmak zorunda kalılabilmektedir. Müşterilerin siparişlerini iptal etmesinin yanı sıra, küçük miktardaki ekstra üretimler, desen-boya deneme dökümleri, siparişin tahmin edilmesine yönelik ilave üretim gibi çeşitli faktörlerden kaynaklı depolama ihtiyacı doğabilmektedir (Özdemir, 2006).

Bu ihtiyaç ürünlerin uygun koşullar altında saklanabilmesi için yönetilebilir olmalıdır. Kültür taşları kırılgan ve hassas yüzey özelliklerine duyarlı olduklarından dolayı depolama sırasında fiziksel ve kimyasal etmenlere karşı korunmaları önemlidir. Ürünlerin kalitesini korumak, siparişlere sevk edilecek taşların kırılmasını veya çatlamasını önlemek ve lojistik süreçlerini optimize etmek için dikkatle planlanması gereken bir süreçtir.

Kültür taşı paletleri taş desenine göre 750-950kg arası gelmektedir. Bu taşlar, düz, sağlam yüzeylere sahip ahşap paletlere kutulanmış bir şekilde veya kutusuz yan yana dizilerek sandıklarda depolanmkata ve aralarına koruyucu malzemeler yerleştirilerek taşların birbirine sürterek çizilmesi engellenmektedir. Nem ve sıcaklık değişimlerinden etkilenebileceği için depolama alanının kuru, havalandırılmış ve sabit bir sıcaklığa sahip olması gerekmektedir. Özellikle kutulu ürünlerin depolanması esnasında üst üste dizili kutular su ve nem gibi faktörlerden dolayı zarar görür. Paletlerin alt kısmındaki kutu, nemlenmeden dolayı zarar görür ve üzerindeki ağırlığı taşıyamayacağı için devrilir. Bu yüzden depolama alanı su ve nemden arındırılmalı ve sürekli olarak havalandırılmalıdır. Ayrıca kutuların zarar görmemesi için kültür taşlarının tam kurutularak kutulanması gerekir. Aksi takdirde kutulanan taş hava alamayacağından dolayı dış ortamla teması kesilir ve kutuya içerden zarar vermeye başlar. Açık hava depolaması gerektiğinde, kültür taşlarının üzerine

koruyucu branda veya kaplama malzemesi çekilerek, kutuların yağmur ve güneş gibi çevresel etkilere maruz kalması önlenmektedir. Doğru depolama yöntemleri, kültür taşlarının hem görsel hem de yapısal bütünlüğünü koruyarak uzun süre kullanılabilir olmasını sağlamaktadır (Acar, 2013).

3.6. Sevkiyat Kontrolü

Kültür taşlarının nakledilmesi süreci, ürünlerin güvenli bir şekilde müşteriye ulaştırılmasını içeren prosesler zincirinin son aşamasıdır ve bu süreçte doğru planlama oldukça önemlidir. Ürünlerin yanlış müşteriye gönderilmesini önlemek amacıyla doğru bir şekilde sınıflandırılması ve uygun etiklerin yapıştırılması gerekmektedir. Ayrıca taşların paletlere dengeli bir şekilde yerleştirilmesi, taşıma sırasında oluşabilecek devrilme ve kaymaları önlemek adına kritik bir rol oynamaktadır. Paletlere veya sandıklara dizilmiş kültür taşları toka ve çember yardımı ile sabitlenerek, devrilmelerin ve kaymaların önüne geçilmektedir. Bu işlemlere ilave olarak dış ortam tozu ve diğer benzer etmenlerden korumak amacıyla yüklenecek malzemeler streç film ile kaplama işlemine tabi tutulmaktadır (Barış, 2013).

Nakliye araçlarının seçimi, taşınacak ürünlerin miktarına, ağırlığına ve hassasiyetine bağlıdır. Taşımacılık işlemleri kamyon, tır veya konteyner gibi kara taşıma araçlarıyla gerçekleştirilmektedir. Nakliye sırasında araç içindeki yükün sabit kalması ve yolculuk süreçlerinden kaynaklı titreşimden minimum düzeyde etkilenmesi için bağlama kayışları, takozlar veya sıkıştırma sistemleri kullanılmaktadır. Araçlar, yükün dengesini koruyacak şekilde yüklenmeli ve ağırlık dağılımına dikkat edilmelidir; aksi takdirde araç kontrolü zorlaşır ve taşlar hasar görür. Teslimat yerine ulaşıldığında, taşların indirilmesi sırasında forklift, vinç ve manitou gibi uygun araçlar kullanılmalıdır. Bu indirme işlemi ön görülerek araçlar yüklenmeli, bu sayede indirme işlemi esnasında bir aksilikle karşılaşılması önlenmelidir (Özgüner, 2017).

Kültür taşı lojistik süreçlerinin başarılı bir şekilde yönetilmesi, müşteri memnuniyeti ve projelerin zamanında tamamlanması açısından önemlidir. Bu süreçte, taşların üretimden teslimata kadar her aşamada korunması ve kalite standartlarının sürdürülebilir kılınması önceliklidir. Uygun ambalajlama teknikleri, hasar riskini minimuma indirirken, doğru taşıma araçlarının ve rotalarının seçimi, operasyonel verimliliği arttırmaktadır. Kültür taşı lojistiği, yalnızca fiziksel taşımayı değil, aynı

zamanda hassas yönetim ve organizasyonel planlamayı da içermektedir. Bu süreçte en önemli hedef, taşların fiziksel bütünlüğünü koruyarak, projelerde estetik ve dayanıklılık açısından beklenen kaliteyi sağlayacak şekilde teslim edilmesidir.

3.7. Çevresel Etkiler ve Atık Yönetimin Kontrolü

Kültür taşı imalatı, çevresel etkiler ve atık kontrolü açısından dolayı oldukça tehlikeli üretim süreçleri içermektedir. Bu süreçte kullanılan malzemeler, üretim yöntemleri ve atık yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Kültür taşı üretimi çimento, agregalar, pigmentler ve su gibi temel malzemelerin kullanımıyla gerçekleşir. Bu hammaddelerin çıkarılması ve taşınması sırasında çevresel etkiler, enerji tüketimi ve karbon ayak izi gibi konular öne çıkmaktadır. Çimento üretimi, enerji yoğun bir süreçtir ve büyük miktarda karbondioksit salınımına yol açmaktadır (Tunçez, 2021). Bu, özellikle klinker üretimi sırasında gerçekleşir. Ayrıca, taş ocaklarından hammadde çıkarılması doğal habitatların bozulmasına ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Agregat üretiminde taş ocaklarında yapılan madencilik faaliyetleri, toprağın yapısını ve bulunduğu ekosistemleri etkilemektedir. Gürültü, toz ve yüzey sularının kirlenmesi gibi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Yağlı, 2006). Taş ocaklarının peyzaj üzerinde yarattığı olumsuz görsel etkiler de dikkat çekmektedir. Pigmentlerin kimyasal işlemlerle üretilmesi, zehirli atıkların ve uçucu organik bileşiklerin ortaya çıkmasına neden olur. Bazı pigmentlerin üretiminde kullanılan ağır metaller, yanlış yönetildiğinde çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar vermektedir. Görme kaybı, deride tahriş, zehirlenme, cilt hasarlarının yanı sıra çeşitli kanser hastalıklarına da yol açtığı bilinmektedir (Ballı, 2015).

Üretim sürecinin, döküm işlemleri sırasında ortaya çıkan toz, atık su ve üretim artıklarının çevreye zarar vermesini engelleyecek, sürdürülebilir olmaya devam edecek şekilde yönetilmesi gereklidir. Pigmentlerin ve kimyasal katkı maddelerinin kullanımında çevreye zararlı sızıntıların önlenmesi için etkili bir atık su arıtma sistemi bulundurulmalıdır. Bunun yanı sıra, imalat esnasında ortaya çıkan döküntü ve fazla malzemelerin geri dönüştürülerek yeniden üretime kazandırılması, atık miktarını azaltmada önemli bir yöntemdir. Enerji tüketimi, kültür taşı üretiminde bir diğer önemli çevresel etkidir. Güneş enerjisiyle çalışan fırınlar, aydınlatmalar, ofis malzemeler ve enerji tüketen diğer ekipmanlar, üretim sürecinin çevresel etkilerini azaltmanın yanı sıra çevre dostu üretime de fayda sağlamaktadır (Camcı,2020).



4. DENEY TASARIMI METOTLARI

Deney tasarımı (Design of Experiments, DOE), bir problemin çözümü, bir sürecin optimize edilmesi ya da bir sistemin anlaşılabilmesi için yapılan deneylerin planlanması ve yürütülmesi sürecidir. Bağımsız değişkenlerin sonuç üzerindeki etkisini sistematik bir şekilde inceleyerek güvenilir ve doğru sonuçlar elde etmektir. (Demir, 2004)

DOE kaynakların etkin kullanılmasını sağlar. Ayrıca, hataların ve taraflılığın minimize edilmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, DOE sayesinde bir sistemdeki etkili faktörler tanımlanmaktadır, bu faktörlerin en uygun seviyelerini belirlenmekte ve sistemin ya da sürecin performansı maksimize edilmektedir. DOE bilimsel araştırmalarda, üretim süreçlerinde ve ürün geliştirme çalışmalarında karar verme süreçlerini destekleyen sistematik bir araçtır (Box, 2005).

4.1. Deney Tasarımın Kavramları

DOE oluşturulurken çeşitli kavramlar, deneyin planlanması, uygulanması ve sonuçlarının analiz edilmesi için çeşitli temeller oluşturur. Bu kavramlar Tablo 4.1'de verilmiştir (Gencer, 2007).

Tablo 4.1. DOE Kavramları

KAVRAM	AÇIKLAMA
Bağımsız Değişken (Faktör)	Deney sırasında kontrol edilen ve değiştirilen değişkenlerdir. Bağımsız değişkenler, bağımlı değişken üzerinde bir etkisi olup olmadığını belirlemek için kullanılır.
Faktör Seviyeleri	Bağımsız değişkenlerin aldığı belirli değerlerdir. Her faktör birden fazla seviyeye sahip olabilir.
Bağımlı Değişken	Bağımsız değişkenlerin etkilediği ve ölçülen sonuç değişkenidir. Deneyin amacı, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlere nasıl tepki verdiğini incelemektir.

Tablo 4.1. (Devamı) DOE Kavramları

KAVRAM	AÇIKLAMA
DeneySEL Birim	Deneyin uygulandığı birimlerdir. Deney sırasında bağımsız değişkenin etkisinin gözlemlendiği fiziksel ya da mantıksal birimlerdir.
Gürültü	Bağımlı değişken üzerindeki etkisi kontrol edilemeyen değişkenleri ifade eder. Gürültü, deneyin sonuçlarına rastgelelik veya belirsizlik ekler ve bağımsız değişkenlerin gerçek etkisinin doğru bir şekilde ölçülmesini zorlaştırır.
Rastgelelik (Randomization)	Deneylerde taraflılığı azaltmak ve sonuçların genelleştirilebilirliğini artırmak için faktör seviyelerinin veya deneySEL birimlerin rastgele atanmasıdır.
Tekrarlama (Replication)	Bir deneyin aynı koşullar altında birden fazla kez tekrarlanmasıdır. Bu, sonuçların güvenilirliğini artırır ve varyasyonların etkisini azaltır.
Faktöriyel Tasarım	Birden fazla bağımsız değişkenin aynı anda incelendiği ve tüm olası kombinasyonların test edildiği deney tasarımıdır.
Yanıt Yüzeyi	Bağımlı değişkenin (yanıtın) bağımsız değişkenlere nasıl tepki verdiğini gösteren bir matematiksel model veya eğridir. Yanıt yüzeyi optimizasyon süreçlerinde sıkça kullanılır.
Varyans Analizi (ANOVA)	Deneyde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Varyans analizi, faktörlerin önemli olup olmadığını belirler.
Hata (Error)	Bağımsız değişkenlerin etkilerinin açıklayamadığı, sonuçtaki rastgele değişikliklerdir. Deney tasarımında, hatanın etkisini en aza indirmek önemli bir hedeftir.
Etkileşim (Interaction)	Birden fazla bağımsız değişkenin birlikte bağımlı değişken üzerinde farklı bir etkiye sahip olması durumudur. Etkileşimler, faktörlerin birbiriyle ilişkisini anlamak için önemlidir.
Ana Etki (Main Effect)	Her bir bağımsız değişkenin, diğer faktörlerden bağımsız olarak bağımlı değişken üzerindeki etkisidir.
Tahmin Edici Model	Deneyden elde edilen sonuçları temsil eden matematiksel veya istatistiksel modeldir. Bu model, bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkeni tahmin etmeyi sağlar.

4.2. Deney Tasarımının Önemi

Günümüzün yoğun rekabet ortamında, işletmelerin başarılı olabilmesi için ürün ve süreç kalitesini sürekli geliştirmesi gerekmektedir. Müşteri beklentilerinin çeşitliliği, hızlı değişen pazar talepleri ve maliyet baskıları, işletmeleri daha etkili yöntemler

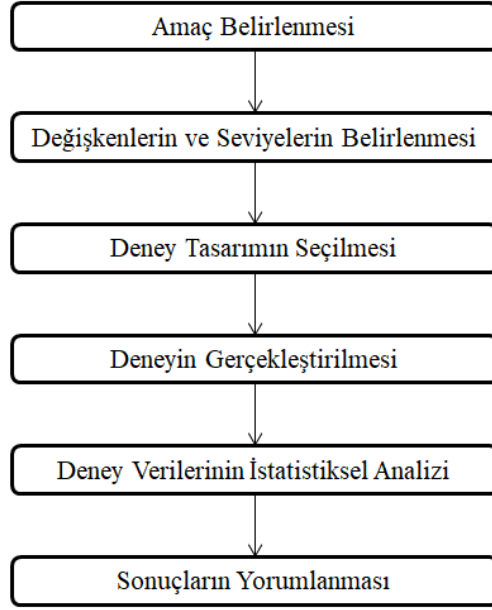
kullanmaya zorlamaktadır (İnanoğlu, 2022). Bu noktada, DOE hem kaliteyi artırmak hem de üretim süreçlerini optimize etmek için kullanılan bir araçtır. DOE, ürün veya süreçlerdeki değişkenlerin etkilerini analiz ederek, hangi faktörlerin sonuçları olumlu veya olumsuz etkilediğini belirlemektedir. Örneğin, üretim sürecinde kullanılan malzeme oranları, sıcaklık, basınç gibi faktörlerin incelenmesi, hem kaliteyi artırır hem de israfı azaltır. Bu sistematik yaklaşım, ürünün üretim aşamasında maliyetleri düşürür ve rekabet gücünü artırır. Rekabetin yoğun olduğu günümüzde, işletmeler yalnızca kaliteli ürün üretmekle yetinemez, aynı zamanda bu kaliteyi hızlı, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde sağlamalıdır. DOE, bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştırarak işletmelerin müşterilerinin beklentilerini karşılamasına ve pazarda avantaj sağlamasına yardımcı olmaktadır.

DOE'nin önemi ve amaçları Taylan (2009) tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Çıktı üzerindeki en etkili girdi faktörünün tespiti, en uygun çıktı değerlerini elde etmek için etkili girdilerin sahip olması gereken değerlerin tespiti, çıktı değerindeki varyansı minimize edecek girdi faktörlerinin değerler tespiti, kontrol edilemeyen faktörlerin çıktı üzerindeki etkisini minimum değerde tutabilmek için girdilerin alması gereken değerlerin saptanması deney tasarımının amaçları olarak sıralanabilir. (s. 13)

4.3. Deney Tasarımının Adımları

İlk olarak, deneyin amacı belirlenir ve bağımlı ile bağımsız değişkenler tanımlanır. Ardından, faktörler ve bunların seviyeleri belirlenerek uygun bir deney tasarımı seçilir. Deney matrisi oluşturulduktan sonra, planlanan deneyler gerçekleştirilir ve elde edilen veriler analiz edilir. Bu analizler, faktörlerin etkilerini ve optimum koşulları ortaya koymaktadır. Sonuçların doğrulanmasıyla süreç tamamlanır ve elde edilen bulgular uygulanarak sistem performansı iyileştirilmektedir (Hündür, 2019).



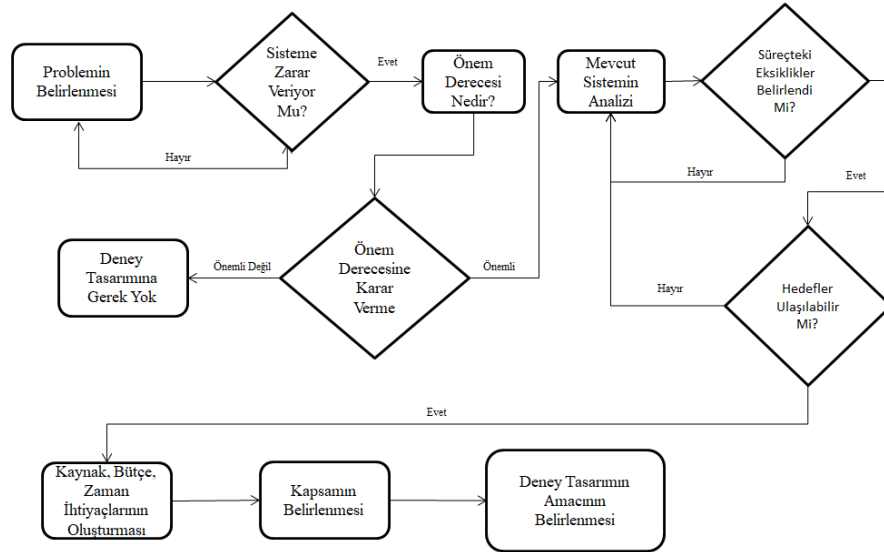
Şekil 4.1. DOE Adımları

4.3.1. Deney tasarımında amaç belirleme

Amaç belirleme, deney tasarımının başlangıç aşamasıdır. Bu aşama, deney sürecinin yönünü ve odak noktasını belirlemektedir. Doğru bir amaç, deneyin hedeflerini açık bir şekilde tanımlar ve hangi soruların cevaplanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Eğer deneyin amacı net değilse, yapılan çalışmalar hem zaman hem de kaynak israfına yol açmaktadır.

Amaç belirlemenin ilk adımı, çözülmesi gereken problemin açıkça tanımlanmasıdır. Sisteme zarar veren bileşenler belirlenir ve ortadan kaldırılmasının katkıları ile alakalı hipotezler öne sürülür. Gerekliliği konusunda karar verilir. Devamında mevcut süreçlerin ve sonuçların detaylı bir analizi yapılmaktadır. Süreçteki eksiklikler, sorunlar veya iyileştirilmesi gereken noktalar net bir şekilde ortaya konulmalıdır. Belirlenen problem doğrultusunda, deneyin çözmek istediği sorunlar netleştirilmelidir. Sorunların çıktıları ölçülebilir olmalıdır. Aksi halde çalışma sonucunda elde edilen değerlerin çözülen sisteme katkısı olup olmadığı savunulamaz. Beklenen çıktı hedefleri oluşturulur. Bu hedeflere ulaşma doğrultusunda gerekli sistematik yapılandırılmalar hayata geçirilir. Kaynak, zaman, bütçe vb. ihtiyaçlar karşılanır. Deneyin odaklanacağı alan ve dışarıda bırakılacak faktörler belirlenir. Gereksiz detaylara girilmemesi için kapsam alanı oluşturulur ve

alınan karar doğrultusunda gerçekçi hedeflere ulaşmak için çalışmalara başlanılır (Voss, 1999).



Şekil 4.2. DOE Amacın Belirlenmesi

4.3.2. Deney tasarımında değişkenlerin seviyelerin belirlenmesi

Deney tasarımında değişkenlerin ve seviyelerinin belirlenmesi, deneyin başarısını doğrudan etkileyen aşamalardan biridir. Bir deneyin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için, bağımsız ve bağımlı değişkenler tanımlanmalı ve seviyeleri bilimsel bir yöntemle seçilmelidir. Bağımsız değişkenler, deney sırasında değiştirilen ve sistemin çıktısını etkileyen faktörlerdir. Üretim sürecinde sıcaklık, basınç veya benzeri değişkenler bağımsız değişken olarak ele alınabilir. Bağımlı değişkenler ise bağımsız değişkenlerdeki değişikliklere bağlı olarak farklı sonuçlar gösteren ölçülebilir değişkenlerdir (Kılıç, 2009).

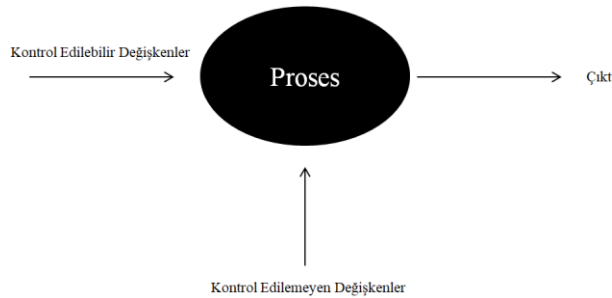
Bağımsız değişkenler belirlendikten sonra, bu değişkenlerin hangi seviyelerde inceleneceği saptanmalıdır. Faktör seviyeleri, her değişkenin deney sırasında alacağı farklı değerleri ifade eder ve deney tasarımının doğruluğunu belirler. İki seviyeli faktörler, faktör yalnızca iki farklı değerde test edilir. Değişkenin alt ve üst değerleri belirlenerek deney tasarımı oluşturulur. Bu yaklaşım, en basit deney tasarımıdır ve genellikle temel karşılaştırmalar için kullanılmaktadır. Üç seviyeli faktörler, faktör üç farklı değerde test edilir. Alt, üst ve orta noktadaki değerleri de ele alınmaktadır.

Daha fazla seviye eklemek, daha ayrıntılı analiz yapılmasını sağlamaktadır. Sürekli faktörler, belirli bir aralıkta sürekli olarak değişebilir. Bağımsız değişken bu noktada alt ve üst değer arasında ne tarafa yakın olduğu önemsenmeksizin rastgele değerler alır. Sürekli faktörler için belirli noktalarda ölçüm yaparak sistematik bir deney planı oluşturulur.

Gerçekçi ve uygulanabilir seviyeler seçilmelidir. Aşırı uç değerler, sistemin doğal işleyişini bozar ve yanıltıcı sonuçlara yol açar. Deneyin hassasiyetini korumak için yeterli sayıda seviye seçilmelidir. Gereğinden az seviye belirlenirse, değişkenin etkisi yeterince analiz edilemez, fazla seviye belirlenirse de deney süreci karmaşık ve maliyetli hale gelir. Ön testler ve ön çalışmalar yapılmalı, faktör seviyelerinin uygun olup olmadığını belirlemek için küçük çaplı ön deneyler gerçekleştirilmelidir. Deney tasarımında değişkenlerin ve seviyelerinin doğru belirlenmesi, sistemin anlaşılması ve optimize edilmesi için büyük önem arz etmektedir. Faktörlerin uygun seviyelerde seçilmesi, deney sonuçlarının güvenilirliğini artırır ve süreç iyileştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, bilimsel yöntemler ve istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak değişken seviyeleri titizlikle belirlenmelidir (Şişman, 2013).

4.3.3. Deney tasarımının seçilmesi

Deney tasarımının seçimi, çalışmanın amacı, değişkenlerin doğası, kaynakların durumu ve elde edilmek istenen sonuçlara bağlı olarak yapılmaktadır. En uygun deney tasarımını seçebilmek için, araştırmanın amacı, değişken sayısı, değişken türü, ölçülebilirlik, hassasiyet gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Deneyin bir süreç optimizasyonu mu, bir hipotez testi mi yoksa neden-sonuç ilişkisini belirlemeye mi odaklandığı belirlenmelidir. Bağımsız değişkenlerin sayısı ve seviyeleri, hangi deney tasarımının seçileceği konusunda bilgi verir.



Şekil 4.3. DOE Proses Gösterimi

Deney tasarımları, değişkenlerin kontrol edilebilirliği, karşılaştırma yöntemleri ve istatistiksel analiz yaklaşımlarına göre farklı sınıflara ayrılmaktadır (Şenoğlu, 2011). Bunlara basit deney tasarımları, faktöriyel deney tasarımları, blok ve karışık deney tasarımları, yanıt düzeyi yöntemi ile deney tasarımı, Taguchi deney tasarımı, rastgele deney tasarımı gibi yöntemler örnek gösterilebilir. Her deney tasarımının avantajları ve dezavantajları vardır. Seçim yaparken deneyin amacı, değişkenlerin sayısı, dış etkenlerin kontrol edilebilirliği ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

4.3.4. Deneyin gerçekleştirilmesi

Deney tasarımında belirlenen faktörlerin ve seviyelerin uygulanması aşaması olan deneyin gerçekleştirilmesi, problemin tanımından başlayıp değişkenlerin belirlenmesine ve hatta analiz edilmesine kadar olan tüm süreçleri kapsamaktadır (Erdil, 2020). Deneyin gerçekleştirilmesi işlemi sonuçların kayıt altına alınması ve belirlenen hedeflere ulaşılmasıyla son bulmaktadır. Kimi zaman hedeflere ulaşılmasa da, problemin deney tasarımı yöntemi ile çözülüp çözilemeyeceği ile ilgili de bilgi vermektedir.

Deneyin gerçekleştirilmesi için belirli adımların sırasıyla izlenmesi gerekmektedir. Optimum deney koşulları sağlanamadıkça alınan verilerin deney tasarımına olan etkileri bir birinden ayırt edilememektedir. Bu optimum koşulları sağlayabilmek adına sisteme dışarıdan müdahalesi bulunan kontrol edilemeyen tüm faktörler etkisiz hale getirilmelidir. Gürültü faktörü de denilen bu değişkenler deney tasarımını doğrudan etkiler ve çıktılar üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Gürültü faktörleri, bağımlı değişken üzerindeki varyansı artırarak deney sonuçlarının belirsiz ve güvenilmez olmasına neden olmaktadır (Borror, 2002). Daha yüksek varyans, istatistiksel testlerin güç kaybetmesine ve anlamlı sonuçlar bulmanın zorlaşmasına yol açmaktadır. Aynı koşullarda oluşturulan deneyler gürültü faktörlerinden dolayı farklı çıktılara neden olmaktadır.

Deneyin uygulanması aşamasında önceden belirlenen faktör seviyeleri doğrultusunda deneyler gerçekleştirilir. Tam faktöriyel, Taguchi veya yanıt yüzeyi yöntemleri gibi farklı deney tasarımlarında uygulama süreçleri birbirinden farklıdır. Her bir faktör seviyesinde belirlenen koşullar değiştirilerek etkileri gözlemlenir. Aynı koşullar tekrarlanarak sistemin güvenilirliği arttırılmaktadır. Tüm girdiler ve çıktılar

sistematik olarak kayıt altına alınır bu sayede veri kaybının önüne geçilerek deney tasarımı oluşturulurken, hatalı algoritma oluşturulmasının önüne geçilmektedir (Antony,2014).

4.3.5. Deney verilerinin istatistiksel analizi

Bu aşama, deneyden elde edilen verilerin değerlendirilmesi, anlamlı farklılıkların belirlenmesi ve sistemdeki değişkenlerin etkilerinin yorumlanmasını içermektedir. İstatistiksel analiz, deneyin sonuçlarını güvenilir ve bilimsel olarak doğrulanabilir hale getirerek, alınacak kararların sağlam bir temele dayanmasını sağlamaktadır. Doğru bir deney tasarımı ve veri analizi doğru bir veri dizisiyle sağlanmaktadır.

Deney sonuçlarında eksik veriler veya uç değerler bulunabilir. Eksik veriler uygun istatistiksel yöntemler ile ,ortalama ile tamamlama, regresyon tahmini gibi çeşitli istatistiksel yöntemler ile giderilmelidir. Aykırı veriler ,normal dağılımdan aşırı sapmalar gösteren noktalar, veri kümesinden çıkarılmalı veya analizlerde dikkate alınarak etkileri incelenmelidir (Box, 2005).

Deney verilerinin genel özelliklerini anlamak için tanımlayıcı istatistikler hesaplanır ve analiz aşamasında kullanılır. Bu aşama, deney sonuçlarının dağılımını ve merkezi eğilimlerini belirlemek için kullanılır. Veri analizi esnasında kullanılan tamamlayıcı istatistiksel veriler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tamamlayıcı İstatistiksel Veriler

İstatistiksel Ölçüt	Açıklama
Ortalama	Verilerin genel eğilimini gösterir.
Ortanca (Medyan)	Verinin merkezini temsil eder ve aşırı uç değerlerden etkilenmez.
Standart Sapma	Verilerin dağılım genişliğini gösterir.
Varyans	Değişkenlik miktarını gösterir.
Min-Max Değerler	En düşük ve en yüksek gözlemleri belirler.

Ortalama bir veri dizisindeki tüm verilerin toplanarak toplam veri sayısına bölünmesi ile bulunur.

$$\frac{a_1 + a_2 + a_3 \dots \dots \dots + a_n}{n} \quad (4.1)$$

Ortanca değerin hesaplanması için veri noktalarını küçükten büyüğe sıralanır. Eğer veri noktalarının sayısı tekse, ortanca (medyan) ortada yer alan veri noktasıdır. Eğer veri noktalarının sayısı çiftse, medyan ortadaki iki veri noktasının ortalamasıdır.

$$\frac{n + 1}{2} \quad (4.2)$$

Standart sapma varyansın kareköküdür. Veri değerlerinin yayılımının özetlenmesi için kullanılan bir ölçüdür. Daha basit bir dille anlatmak gerekirse standart sapma veri grubundaki değerlerin ortalamadan ne kadar saptığını gösterir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ortalama})^2}{n - 1}} \quad (4.3)$$

Varyans, bir veri setindeki gözlemler arasındaki değişkenliğin bir ölçüsüdür. Deney tasarımı varyans, bağımlı değişkenin farklı deney koşullarında nasıl değiştiğini anlamamıza yardımcı olur. Bir sistemin veya sürecin hangi faktörlerden ne kadar etkilendiğini belirlemek için varyans analiz edilir. Düşük varyans, sürecin tutarlı olduğunu gösterir. Yüksek varyans, sistemde büyük dalgalanmalar olduğunu ve kontrol edilmesi gerektiğini gösterir.

$$Varyans = \sigma^2 \quad (4.4)$$

Deneyde kullanılan faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini görmek için ANOVA yani varyans analizi uygulanır uygulanır. ANOVA gibi istatistiksel yöntemlerle varyansın hangi faktörlerden kaynaklandığı analiz edilir (Montgomery,2017).

$$\text{Toplam Varyans} = \text{ANOVA} + \text{Gürültü Faktörü} \quad (4.5)$$

4.3.6. Deney sonuçlarının yorumlanması

Deney sonuçlarının yorumlanması, yapılan analizlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve elde edilen bulguların anlamlı hale getirilmesi sürecidir. İlk aşamada, deneyden elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerle analiz edilir ve bağımlı değişken üzerindeki etkiler belirlenir. Verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı, varyans homojenliği ve deney grupları arasındaki farklılıklar gibi temel istatistiksel kontroller yapılmalıdır. Bu aşamada tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, minimum-maksimum değerler) kullanılarak verilerin genel eğilimleri hakkında ön bilgi edinilir.

Sonrasında, ANOVA, RSM(yanıt düzeyi yöntemi), faktöriyel deney tasarımı, Taguchi deney tasarımı, gibi istatistiksel deney tasarımları kullanılarak deney değişkenlerinin bağımlı değişken üzerindeki etkileri değerlendirilir. Örneğin, bir faktörün anlamlı olup olmadığını belirlemek için p-değeri incelenir. Eğer $p < 0.05$ ise bu faktörün istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilir ve sürecin çıktısını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılır. Ayrıca, etki büyüklüğü ve etkileşim etkileri de değerlendirilerek birden fazla faktörün birbirleriyle olan ilişkisi analiz edilir. Kültür taşı üretimi gibi üretim süreçlerinde, sıcaklık, nem ve su oranı gibi faktörlerin birlikte nasıl çalıştığı, sonuçların yorumlanabilmesi için birbirleri üzerindeki etkilerini dikkatlice incelenmelidir.

Deney sonuçları yorumlanırken hata kaynakları ve deney tekrarlarının önemi de göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer hata varyansı yüksekse, deney tekrarları artırılmalı ve sistematik hatalar belirlenerek giderilmelidir. Bunun yanı sıra, optimum parametrelerin belirlenmesi için yanıt optimizasyonu uygulanmalıdır.

Sonuç olarak, deneylerin doğru bir şekilde yorumlanması, sürecin geliştirilmesi ve kontrol altına alınması için kritik bir adımdır. Yalnızca istatistiksel olarak anlamlı sonuçlara odaklanmak yerine, pratik anlamda uygulanabilir ve üretim sürecini iyileştirecek sonuçlar çıkarılmalıdır. Bu nedenle, deney sonuçlarının hem istatistiksel hem de mühendislik açısından değerlendirilmesi, karar verme süreçlerinde en iyi sonuçları elde etmeyi sağlamaktadır (Myers, 2016).

4.4. Deney Tasarımı Yöntemleri

Deney tasarımı yöntemleri, bir sürecin çıktısını etkileyen faktörleri sistematik olarak incelemek ve optimize etmek amacıyla geliştirilmiş yöntemlerdir. Her yöntemin kendine özgü yapısı, avantajları ve kullanım alanları vardır.

4.4.1. Taguchi deney tasarımı

Taguchi Deney Tasarımı, Genichi Taguchi tarafından geliştirilen deney tasarımı yöntemidir. Temel hedefi, sistem çıktılarındaki değişkenliği analiz ederek doğru kararlar almamız yönünde bizlere yardımcı olmasıdır. Bu sayede kaliteli ve kararlı ürünler, süreçler tasarlanması konusunda yapılan çalışmalar büyük katkılar sağlamaktadır. Geleneksel deney tasarımı yöntemlerinden farklı olarak Taguchi yöntemi, yalnızca ortalama değerlerin analizine değil, aynı zamanda sistemin dışsal bozulmalara (gürültüye) karşı dayanıklılığına da odaklanır.

Taguchi yönteminde deneyler, özel olarak hazırlanmış ortogonal dizinler veya yapılar kullanılarak tasarlanmaktadır. Bu dizinler, birden fazla faktörü aynı anda ama az sayıda deneyle test etmemizi sağlar. Yani, daha az deneyle daha fazla bilgi elde edilmektedir (Montgomery, 2017).

L4 (2^3): 3 faktör, 2 seviye için kullanılır.

L8 (2^7): 7 faktör, 2 seviye için uygundur.

L9 (3^4): 4 faktör, 3 seviye.

L16 (2^{15}): 15 faktör, 2 seviye.

L27 (3^{13}): 13 faktör, 3 seviye.

Gürültü faktörleri, doğrudan kontrol edilemeyen ancak ürün kalitesi ve üretim kararlılığı üzerinde etkili olan dışsal değişkenlerdir. Bu tür faktörler deney tasarımı yöntemlerinde oldukça önemlidir çünkü amaç sadece yüksek performans koşullarını elde edebilmek için analiz yapmak değil, aynı zamanda kararlı ve tekrarlanabilir kalite elde etmektir. Bu yüzden deneyler mümkün olduğunca dış ortam etkilerinden arındırılmalı ve doğrulukları tekrarlanarak kontrol edilmelidir (Roy, 2010).

4.4.2. Tam faktöriyel deney tasarımı

Deneyisel araştırmalarda tüm olası faktör ve seviye kombinasyonlarının sistematik biçimde denendiği güçlü ve kapsamlı bir yöntemdir. Bu tasarımda, her faktörün tüm seviyeleri, diğer tüm faktörlerin her bir seviyesiyle birlikte test edilmektedir. Böylece sadece her faktörün ana etkileri değil, aynı zamanda faktörler arası etkileşimler de detaylı bir şekilde analiz edilmektedir. Örneğin, 3 faktörlü ve her biri 2 seviyeli bir deneyde, $2^3 = 8$ farklı koşul denenmektedir. Faktör sayısı arttıkça deney sayısı da üstel olarak artar. Bu da yöntemin en büyük avantajı olan kapsayıcılığı ile birlikte maliyet ve zaman açısından dezavantajlarını da beraberinde getirmektedir.

Tam faktöriyel tasarım, faktörlerin birbiriyle olan karmaşık ilişkilerini ve çıktıları üzerindeki birleşik etkilerini anlamada oldukça başarılıdır. Analizler genellikle ANOVA yapılır; böylece her faktörün ve etkileşimlerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilir. Ayrıca regresyon modelleri oluşturularak sistemin matematiksel temsilinin elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Montgomery, 2017).

4.4.3. Kısmi faktöriyel deney tasarımı

Tam faktöriyel deney tasarımının bir uzantısıdır. Büyük ve karmaşık sistemlerde, deneylerin sayısını ve maliyetini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu yöntem, yalnızca belirli kombinasyonları seçerek deney yapmaya olanak tanımaktadır. Yani, tüm faktörlerin seviyeleri arasında yapılacak her kombinasyon yerine, sadece önemli veya belirli etkileşimlerin incelenmesine olanak vermektedir.

Kısmi faktöriyel deney tasarımı, tam faktöriyel deney tasarımına göre; deney sayılarını azaltmayı, maliyeti düşürmeyi ve süreci hızlandırmayı hedefler ve bu sayede daha ekonomik bir analiz yapma imkanı sunmaktadır. Bu gibi avantajlarının yanı sıra, daha az etkileşim incelemesi yaptığı için bazı yüksek dereceli etkileşimler göz ardı edilmektedir. Bu nedenle, gözlemlenen etkilerin doğruluğu konusunda şüpheli durumlar oluşturmaktadır. Ayrıca tam faktöriyel deney tasarımına göre de içerisinde daha az deney barındırdığı için de istatistiki gücü daha düşüktür. (Montgomery, 2017)

4.4.4. Plackett Burman (Screening,PB) deney tasarımı

Plackett–Burman tasarımı, çok sayıda faktörün hızlıca taranarak ana etkilerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş iki seviyeli bir tarama (screening) deney tasarımıdır. Plackett ve Burman (1946) tarafından tanımlanan bu yaklaşım, tekrarsız ve en düşük koşu sayısı ile incelemeye olanak tanımaktadır.

Bağımsız değişkenlerin sadece ana etkileri incelendiğinde PB deney tasarımı efektif bir yaklaşım sunmaktadır. Bu nedenle, bu tasarım sıklıkla bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini ne derece olumlu veya olumsuz olduğu yönünde sınıflandırmak için tercih edilmektedir.(Yerlikaya, 2013).





5. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi Alpaydın (2020) tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Makine öğrenmesi, bilgisayarların verilerden öğrenmesini sağlayan bir süreçtir. Bu süreçte, makine öğrenmesi algoritmaları veya modelleri, verilerdeki örüntüleri veya ilişkileri öğrenir ve daha sonra bu öğrenilen bilgiyi yeni, daha önce görülmemiş veriler üzerinde tahminlerde bulunmak veya kararlar almak için kullanır (s. 3).

Makine öğrenmesi (ML), mevcut verilerin bilgisayarlar tarafından işlenerek insan hayatını kolaylaştırıcı yönde optimize etmeyi ve uygulamayı sağlamakta yardımcı olmaktadır. Bizler fark etmesek de görsel taramadan, veri analizlerine kadar bir çok alanda hayatımıza dahil olmuştur. Güvenlik gereksinimlerin yüksek olduğu savunma sanayi, hava alanı askeri üst gibi bölgelerde görsel olarak güvenliği sağlamanın yanı sıra sayısal veriler ile de birçok alanda insan hayatına olumlu katkılar sağlamaktadır. Poligraf adı verilen yalan makinesi de temelde insan vücudunun tepkilerini okuyarak daha önce tanımlanan öğretici veriler neticesinde bir bireyin yalan söyleyip söylemediği konusunda bizlere bilgi vermektedir. Yalan makinesi sorgu esnasında sorgulanan kişinin kan basıncı, nabız, solunum hızı ve terleme gibi fizyolojik tepkilerini ölçer. Bu verileri arka planda öğreti olarak yüklenen yüksek doğruluk oranına sahip veriler ile karşılaştırır ve mevcut durum hakkında yorum yapar. Mobil bankacılık, yüz tanıma vb. görsel uygulamalar da sayısal veriler ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Yüklenen temel görsel belirli noktalarda sayısal verilere dönüştürülür ve yeni yüklenen görsel de sayısal verilere çevrilerek karşılaştırması yapılır, bu işlem sonunda karşılık bulan doğru veriler güvenlik onayının alınması sağlamaktadır. Daha detaylı bahsedecek olursak Face ID (yüz kimliği) diye tabir edilen yüz güvenlik sistemi, öncelikle bir yüz algıladıktan sonra, yüzün üzerinde belirli noktaları (gözler arası mesafe, burun ucu, ağız kenarları gibi) tespit etmektedir. Bu noktaların birbirine olan uzaklıkları, açıları ve oranları ölçülür. Elde edilen bu ölçümler, yüzün matematiksel bir temsili oluşturur ve vektörler veya koordinatlar gibi sayısal verilere çevrilir. Böylece her yüz, sisteme özel bir dijital yüz izi şeklinde kaydedilmiş

olur. Sonrasında bu sayısal veri, yeni yüzlerle karşılaştırılarak tanıma işlemi yapılır (Szeliski, 2010).

5.1. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Makine öğrenmesinde kullanılan algoritmalar, probleme ve veri yapısına göre farklılık göstermektedir. Genel olarak, makine öğrenmesi algoritmaları denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme algoritmaları olmak üzere kabaca 3 ana başlıkta incelenmektedir.

5.1.1. Denetimli öğrenme algoritması

Denetimli öğrenme, makine öğrenmesi alanında, giriş verileri ile bu verilere karşılık gelen doğru çıktıların kullanılarak modelin eğitilmesi sürecidir. Algoritma, verilen veriler arasındaki ilişkiyi öğrenmekte ve öğrendiği bu bilgiyi yeni veriler üzerinde doğru tahminler yapmak için kullanmaktadır. Denetimli öğrenmede amaç, modelin genel bir desen veya kural çıkararak gelecekteki veri noktalarını doğru bir şekilde sınıflandırması veya tahmin etmesidir.

Denetimli öğrenmenin amacı Alpaydın (2020) tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Denetimli öğrenmede amaç, her girdi için doğru çıktıyı tahmin etmeyi öğrenmektir. Girdi-çıkı örneklerinden oluşan bir eğitim kümesi kullanılarak bir model öğrenilir ve bu model daha sonra yeni girdiler için çıktı tahmini yapmak üzere kullanılır (s. 47).

5.1.1.1. Lineer regresyon

Lineer regresyon, bağımlı bir değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemek amacıyla kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Bu yöntem, belirli bir veri setine dayalı olarak bağımlı değişkenin değerlerini tahmin etmek ve açıklamak için doğrusal bir model oluşturur. Çoklu lineer regresyon modeli, birden fazla bağımsız değişkeni içerecek şekilde genellenmektedir.

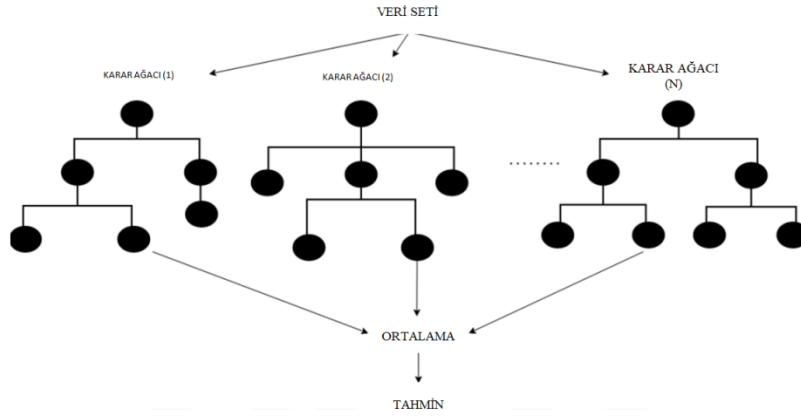
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (5.2)$$

Burada β_0 sabit terim, β_1 eğim, ε ise gözlemlenen değerin modelden sapmasını ifade eden hata terimidir. Amaç, gözlemlerden yola çıkarak β_0 ve β_1 katsayısını tahmin

etmektedir. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki kare farkların toplamı en küçük olmalıdır. Bu yöntem en küçük kareler yöntemi olarak adlandırılır. Modelin geçerliliğini kontrol etmek için artık analizi, multikolinerlik teşhisi (VIF değerleri) ve aykırı değer analizi yapılır. Basit lineer regresyon; ekonomi (talep tahmini), mühendislik (dayanım–miktar ilişkisi), biyoloji (doz–yanıt çalışmaları) ve sosyal bilimler (anket puanları ilişkisi) gibi pek çok alanda ilk başvurulmuş yöntemdir. Avantajları arasında yorum kolaylığı ve düşük hesaplama gereksinimi, dezavantajları ise doğrusal olmayan ilişkileri modelleyememesi ve varsayımların sağlanmaması durumunda yanıltıcı sonuç üretmesidir. (Montgomery, 2017).

5.1.1.2. Random forest

Random forest, karar veya regresyon ağaçlarına bağlı bir makine öğrenme tekniğidir. Tek bir karar ağacı kullanmak yerine performansı daha yüksek tahminler üretmek için birkaç karar ağacının birleştirilmesini sağlayan yöntemlerden birisidir. Performansı arttırılmış modelin ana temeli zayıf ağaçların bir araya getirilerek daha iyi ağaçlar oluşturmaktır. En yaygın olarak kullanılan çeşitleri torbalama ve arttırma tekniğidir. Torbalama istatistiksel kümeleme ve regresyonda kullanılan makine öğrenimi algoritmalarının kararlılığını ve doğruluğunu arttırmak için tasarlanmış bir dizi algoritmadır. Varyansı azaltır ve overfittingi engellemeye yardımcı olur. Bu algoritma sıklıkla karar ağacı yöntemlerine uygulanmaktadır. Arttırma yaklaşımında ise ilk adım olarak eğitim verilerinden bir model oluşturulur. Daha sonrasında ise eğitim setinde var olan hataları düzeltmek için ikinci bir model oluşturulur. Bu arttırma prosedürü eğitim veri setindeki modelin tamamı doğru tahmin edilene kadar veya maksimum veri seti eklenene kadar devam ettirilir. Random forestta birçok karar ağacının incelemesi sonucu elde edilen sonuçların yorumlanması sebebiyle overfitting model yapılarının oluşturulmasının önüne geçilmektedir (Breiman, 2001).



Şekil 5.1. Random Forest Dalları

Bu sayede model, hem yüksek doğruluk sağlamakta hem de genelleme yeteneği kazanmaktadır. Random forest, özellikle karmaşık ve yüksek boyutlu veri setlerinde, değişkenler arası ilişkiyi etkili bir şekilde yakalayarak hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde güvenilir ve istikrarlı sonuçlar üretmektedir. Bu da sayısal veri analizlerinde kullanabileceğimiz güvenilir bir yöntem anlamına gelmektedir (Alpaydın, 2010).

5.1.1.3. Gradient boosting

Gradient boosting algoritması, zayıf öğrencilerden (çoğunlukla küçük derinlikli karar ağaçlarından) oluşan bir topluluk yöntemi olup, her adımda bir önceki modelin hatalarını düzeltmeye odaklanmaktadır. Süreç, başlangıçta veri üzerindeki genel eğilimi yakalayan basit bir karar ağacıyla başlamaktadır. Ardından sıradaki her bir ağaç, önceki modelin yaptığı tahminlerin “sözde artık” değerlerini hedef alarak eğitilir. Böylece her yeni ağaç, birikmiş hatalara karşı duyarlı hale gelir ve modelin toplam hata terimi artımlı olarak minimize edilir. Bu ardışık yapı, öğrenme oranı ve ağaç sayısı gibi parametreler belirli bir eşik değerine ulaşana dek devam eder; sonuçta, bireysel ağaçların zayıf yönleri kolektif bir biçimde giderilerek yüksek doğruluklu bir tahmin modeli elde edilir (Friedman, 2001).

5.1.2. Denetimsiz öğrenme algoritması

Makine öğrenmesinin bir türüdür ve etiketsiz veri kullanarak öğrenme sürecini ifade etmektedir. Bu bölümde model, verilerin doğru çıkışlarını bilmeden, sadece girdileri analiz ederek serileri veya yapıları keşfetmeye çalışmaktadır. Denetimsiz öğrenme

algoritmaları, veriler arasındaki benzerlikleri veya grupları bulmak, veri setindeki gizli yapıları ortaya çıkarmak için kullanılır. Özellikle görüntü işleme kısmında ortamdaki farklı nesnelerin tespitinde kullanılmaktadır. Buna örnek olarak, bir üretim hattında sıcaklığın veya nemin mevcut değerin üzerine çıkmasının tespitinde kullanılabilir. Sistem mevcuttan daha farklı bir değere sahip olduğunu anlayacaktır ama çıktı konusunda herhangi bir fikir vermeyecektir.

Denetimsiz öğrenmenin Bishop (2006) tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Denetimsiz öğrenme, verilerin yapısındaki örüntüleri keşfetmek için etiketlenmemiş verileri analiz etmeyi amaçlayan bir makine öğrenme türüdür. Bu yaklaşım, verilerin gruplandırılması, boyut indirgeme veya temel bileşenlerin keşfi gibi görevlerde kullanılır (s. 536).

5.1.3. Pekiştirmeli öğrenme algoritmaları

Pekiştirmeli öğrenme sürecini kavrayabilmek için belli terimler hakkında bilgi sahibi olmamız gerekmektedir. Ajan, çevresi ile etkileşime girebilen bir yapay zeka sistemidir. Çevre, ajanın içinde bulunduğu ortamdır. Durum, ajanın mevcut durumudur. Eylem, ajanın çevresi ile etkileşime girebilmesi için yaptığı davranışlardır. Ödül veya ceza eylemler sonucu ajanın çevresinden aldığı geri bildirimlerdir. Olumlu ise ödül olumsuz ise ceza olarak adlandırılabilir. Politika, ajanın hangi durumda hangi eylemi yapması gerektiğini belirten bir stratejidir. Ajan yaptığı eylemler sonucu aldığı geri dönüşleri en iyi seviyeye çıkarmayı hedefler ve bu doğrultuda öğrenme eğiliminde bulunur. Bu sayede gelecekte de olumlu eylemleri tercih eder. Kısaca ajan çevresiyle etkileşimde bulunur, ödüller alır, aldığı geri bildirimlere göre hangi eylemleri yapması gerektiğini öğrenir ve zamanla en iyi stratejiyi geliştirmeye çalışır. Bu öğrenme türünde, sistem bir hedefe ulaşmak için sürekli olarak kararlar alır ve bu kararlar sonucunda ödüller veya cezalar alır. Sistemin amacı, aldığı ödülleri maksimize edecek şekilde bir politikayı öğrenmektir.

Denetimsiz öğrenmenin Sutton (2018) tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Pekiştirmeli öğrenme, bir ajanın çevresiyle etkileşime girerek ödüller alıp geri bildirimlere dayanarak davranışlarını geliştirdiği bir öğrenme türüdür. Ajan, her

eyleminin sonucunda aldığı ödülleri kullanarak uzun vadeli kazancı maksimize etmek için bir strateji (politika) öğrenir (s. 4).

5.2. Veri Arttırma Metotları

Veri artırma, özellikle görüntü işleme ve derin öğrenme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı durumlarda geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarında da faydalı olmaktadır. LR gibi istatistiksel modellerde, veri artırma genellikle sınırlı veri setlerinde varyasyonu artırmak, modelin gücünü yükseltmek ve multikolinearlık (çok değişkenli regresyon analizinde, bağımsız değişkenlerin yani girdilerin birbirleriyle yüksek derecede ilişkili olması durumudur) gibi sorunları azaltmak için kullanılmaktadır. Ancak, LR doğası gereği yapay veri üretimi dikkatli yapılmalıdır. Çünkü modelin varsayımlarını bozacak biçimde manipülasyon, tahmin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Öte yandan, RF gibi karar ağaçlarına dayalı topluluk yöntemleri, doğal olarak varyansa dayanıklı olmalarına rağmen, dengesiz sınıflar ya da az örnekli problemler karşısında veri artırma tekniklerinden yararlanmaktadır. Özellikle sınıf dengesizliklerinin olduğu sınıflandırma problemlerinde, RF modellerinin doğruluğu, çoğaltılan veya sentezlenen örneklerle iyileştirilebilmektedir. Bu sayede, her iki model türü de uygun veri artırma stratejileriyle daha dengeli, genelleyici ve dayanıklı hale getirmektedir.

Veri artırma özellikle makine öğrenmesi modellerinde eğitim için yeterli veri bulunmadığında kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, mevcut verilerle aynı istatistiksel özelliklere sahip yapay ,sentetik, veri örnekleri üretmeyi amaçlar. Böylece modelin eğitileceği veri kümesinin boyutu ve çeşitliliği artırılır, bu da modelin genelleme yeteneğini ve performansını iyileştirmektedir (Ekwaro, 2025).

Görsel veri ve işitsel veri gibi alanlarda yaygınlaşmış olsa da, sayısal üretim verileri (numerical manufacturing data) üzerindeki uygulamaları henüz sınırlı düzeydedir. Üretim süreçlerinden elde edilen veriler, genellikle sahadan aktarılan veriler, PLC driver okumaları, kalite sistem çıktıları ve MES tabanlı üretim planlama verileri gibi kaynaklardan gelmektedir. Bu tür verilerde veri artırmanın nadiren incelenmektedir ve veri biriktirimi uzun zamanlar almaktadır.

Makine öğrenmesi uygulamalarında iyi performans gösteren modeller, yeterli miktarda eğitim verisine ihtiyaç duymaktadır. Veri toplama sürecinin uzun olması gerçekçi uygulamalar esnasında projelerin uzamasına ve maliyetlerin artmasına sebebiyet vermektedir. Sürecin hızlandırılması, ön projelendirilmesi ve raporlanması esnasında veri arttırma kullanılarak doğru yatırımların yapılıp yapılmadığı konusunda fikir sahibi olunabilmektedir. Bu süreç sadece yatırım tespiti için değil, mevcutta devam eden üretim ve kalite süreçlerinin takibi ve iyileştirilmesi için de kullanılabilir.

Veri artırma, mevcut veri setinden istatistiksel olarak benzer ama yeni örnekler üretmeyi hedeflemektedir. Amaç, modelin daha iyi genelleme yapabilmesi için çeşitlilik sağlamak ve overfitting (aşırı öğrenme) riskini azaltmaktır. Overfitting eğitim verilerinin az olduğu durumlarda, çok katmalı ve parametrelili karmaşık veri setlerinde gerçekleşir. Makine öğrenmesi modelinin eğitim verisine çok fazla uyum sağlaması sonucunda, modelin eğitim verisini ezberlemesi anlamına gelmektedir. Yani model, verinin genel yapısını öğrenmek yerine, sadece gördüğü örnekleri hatırlamaktadır. Mevcut eğitim veri setinin dışında herhangi bir veri seti üzerinde tahmin yürütememektedir.

Doğal dil işleme, konuşma tanıma ve görüntü işleme gibi alanlarda veri artırma işlemi başarıyla uygulanmaktadır. Bu alanlarda, örneğin bir görseli döndürme, bir metindeki kelime sırasını değiştirme veya ses frekansında kayma gibi işlemlerle sentetik veri üretimi yapılmaktadır. Sayısal üretim verilerinde de (örneğin sensör okumaları, üretim çıktıları) uygulanabilir. Sayısal verilerde yapılan sanal veri arttırma işlemi görüntü işlemindeki gibi basit döndürme ve yer değiştirme işlemleri ile yapılamaz. Yalnız işitsel verilerin arttırılmasına benzerdir. Veriye küçük rastgele gürültü eklenir. Veriye küçük oranlarda rastgele bir değişiklik eklenir. Modelin hataya karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Veriler belli oranlarda büyütülüp küçültülebilir. Mevcut veriler arasındaki boşlukları doldurmak için yeni veri noktaları oluşturulur. Veriye ara değerler eklemek anlamına gelir. Bu yöntemler, modelin daha fazla ve çeşitli verilerle öğrenmesini sağlar, böylece genelleme yeteneği artar (Shorten, 2019).

Veri arttırma teknikleri sonucunda oluşturulan sanal veriler, orijinal veriye istatistiksel olarak benzer olmalıdır. Sanal veriler oluşturmak için istatistiki üretken

modeller kullanılır. Üretken modeller, kullanılan model türüne göre kategorilere ayrılabilir, istatistiksel modeller veya sinir ağı tabanlı modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Gauss ve posterior örnekleme yaygın olarak kullanılan istatistiksel modellerdir ve uzun kısa süreli bellek (LSTM), üretken çekişmeli ağı (GAN) ve kodlayıcı-kod çözücü yaygın olarak kullanılan sinir ağı tabanlı modellerdir (Ekwaro, 2025).

5.2.1. Generative adversarial networks yöntemi ile sentetik veri üretimi

GAN'ler, rastgele gürültü vektörlerini işleyerek gerçekçi örnekler oluşturmayı amaçlayan iki bileşenli bir yapıya sahiptir. Generator ağı, genellikle transpoze konvolüsyon katmanları veya tam bağlı katmanlar kullanarak düşük boyutlu gürültüden yüksek boyutlu veriye geçiş yapar; Discriminator ise sıradan konvolüsyonel veya tam bağlı katmanlarla gerçek ve sahte örnekleri ayırt etmeye çalışır. Eğitim sırasında min-max optimizasyonu uygulanır ancak bu süreçte dengeyi korumak zor olup “mode collapse” veya kararsızlık görülebilir. Bu sorunları hafifletmek için WGAN, WGAN-GP ve Spectral Normalization gibi varyantlar geliştirilmiştir (Goodfellow, 2014).

5.2.2. Bayesyen ağı yöntemi ile sentetik veri üretimi

Bayesyen ağlar, düğümlerle temsil edilen rastgele değişkenler arasındaki koşullu bağımlılıkları yönlü bir asiklik grafik olarak modelleyerek hem çıkarımsal sorgulara hem de veri sentezine imkân tanımaktadır. Yapı öğrenme ve parametre öğrenme süreçleri, sırasıyla olasılıksal grafik yaklaşımlar veya puan-tabanlı yöntemlerle gerçekleştirilir. Ağa eklenen her yeni düğüm veya kenar, hesaplama karmaşıklığını arttırmaktadır; bu nedenle büyük boyutlu sistemlerde yaklaşık çıkarım yöntemleri tercih edilir. Finansal risk modellemelerinde “what-if” analizleri için; tıbbi teşhis sistemlerinde farklı senaryoları test etmek için yaygınca kullanılmaktadır (Koller, 2009).

5.2.3. Bootstrap yöntemi ile sentetik veri üretimi

Bootstrap, veri setinden yerine koymalı örnekleme yaparak yüzlerce veya binlerce alt küme üretir ve her alt küme için istatistikî ölçütleri hesaplar. Böylece örneklem dağılımını doğrudan tahmin ederek parametrik dağılım varsayımlarına bağımlılığı

ortadan kaldırır. Örneğin regresyon katsayıları, medyan veya korelasyon için güven aralıkları oluşturmak; model kararlılığını değerlendirmek ve hipotez testleri için bootstrapped p-değerleri elde etmek amacıyla kullanılır. Bootstrap'un en büyük avantajı, küçük örneklemelerde bile tutarlı belirsizlik ölçümü sunmasıdır. (Boehmke, 2019).

5.2.4. Gauss gürültüsü ile sentetik veri üretimi

Gauss gürültüsü ile veri artırma tekniğinde, her bir orijinal veri örneğine sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı normal dağılımdan örneklenen rastgele gürültü değerleri eklenmektedir. Gürültü seviyesi, verinin orijinal yapısını bozmayacak kadar küçük, ancak modele çeşitli varyasyonları öğretecek kadar büyük seçilmelidir (Shorten, 2019). Görüntü verisinde parlaklık veya renk kanallarına, zaman serisi verisinde ölçüm sinyallerine, tabular sayısal veride ise sürekli değişkenlere uygulanarak modelin genelleme yeteneği artırılır, aşırı uyum (overfitting) riski düşürülür ve modelin gürültülü veya eksik veri ile daha dayanıklı hale gelmesi sağlanır. Bununla birlikte, çok yüksek σ değerleri verinin sınıf ayırt edici özelliklerini örtebileceğinden, gürültü düzeyi dikkatle ayarlanmalıdır.

5.2.5. Normalizing flows ile sentetik veri üretimi

Normalizing flow yöntemleri, karmaşık veri dağılımlarını ardışık tersinir dönüşümler yoluyla basit temel dağılımlara dönüştürür. Çeşitli istatistiksel yaklaşımlar ile her dönüşümün determinantını hesaplanabilir tutarak tam olasılık değerlemeye olanak vermektedir. Bu özellik, hem örnekleme hem de olasılık tahmini için güçlü bir altyapı sağlamaktadır. Akış tabanlı modeller, yüksek kaliteli görsel örneklemede, yoğunluk tahmininde ve kontrol edilebilir sentezde öne çıkmaktadır (Kingma, 2018).



6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yükselen küresel ekonomik problemler enflasyon, tedarik zinciri krizleri, enerji maliyetlerindeki artış ve bunun gibi daha birçok maliyet kalemi gün geçtikçe kalitesiz üretimler karşısında kar marjlarını oldukça düşürmekte, kimi zamansa zararına üretim yapmaya neden olmaktadır. Üretim kalitesi problemleri yaşayan işletmelerin bu koşullarda gelir açısından daha fazla dezavantaj yaşamasına neden olmakta, sonunda ise batmasına veya işçi çıkarmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum, özellikle kültür taşı üretimi gibi katma değeri düşük işçiliğe dayalı üretim işletmelerinin ciddi problemler yaşaması ile sonuçlanmaktadır.

Bu bölümde kültür taşı imalatı esnasında ürün kalitesini etkileyen çeşitli faktörler belirlendi. Bu faktörlerin üretim süreçleri üzerindeki etkileri tespit edildi. Python yazılım yazılımı sayesinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki anlam seviyeleri ortaya çıkartıldı. Bunun sonucunda olumlu ortam koşulları oluşturularak kırılma seviyesinin en düşük olduğu optimum şartların hayata geçirilmesi amaçlandı. Çeşitli veri arttırma teknikleri ile anlam seviyelerinin iyileştirilmesi gerçekleştirildi ve uygulanabilirliği tartışıldı.

6.1. Verileri Toplama Tekniği

Hiçbir bilgisayar destekli sistem kullanılmadan veri dijitalleştirme işlemi görevlendirilen bir personelin yardımı ile sahadan saat başı veri çizelgelemesi ile toplanmıştır. Hava sıcaklığı, ortam nemi, harç sıcaklığı, fırın içi nem, fırın içi sıcaklık ve kalıpta kalma süreleri kendisine tahsis edilen ölçme aletleri ile gerçekleştirilmiş ve bilgisayar ortamında MS Office programlarına kaydedilmiştir. Bu araştırmada toplanan saatlik verilerin gün sonu ortalamaları alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1. Kurutma Fırını

6.1.1. Değişkenlerin tanımlanması

PB deney tasarımıyla çok değişkenli bir prosesi analiz ederken önce, bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlendi. Kültür taşlarının sökülmesi esnasında kırılmasına sebep olan temel faktörler, döküm işlemi sonrası kalıpların dış ortamla arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Literatür araştırmaları sonucu bu faktörler belirlendi. Bu tip faktörler ürünün kalitesine doğrudan etki etmektedir. Hava sıcaklığı ve ortam nemi gibi faktörler, kuruma sürecini etkileyerek yüzeyde çatlaklara ve akabinde kırılmalara neden olmaktadır. Harç sıcaklığı, karışımın homojenliği ve reaksiyon hızını belirlerken, fırın içi sıcaklık ve nem, ürünün sertleşme sürecini ve iç yapısını doğrudan şekillendirmektedir. Kalıpta kalma süresi ise ürünün yeterince form almasını ve şekil bozulmalarının önlenmesini sağlamaktadır. Bu değişkenlerin her biri, nihai ürünün dayanıklılığı, estetik görünümü ve genel kalitesi üzerinde çeşitli roller oynamaktadır.

Bağımlı değişken, deney tasarımı sürecinde modellemeye veya analiz etmeye çalışılan sonuç ya da çıktıdır. Tasarlanan modelde üretim kalitesini yani sonucu direkt olarak temsil eden çıktı kırım miktarıdır. Kırımlar üretim ortamı koşullarının uygun şekilde kontrol edilmemesinden ve çeşitli dış etmenlerden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, değişkenlerin hepsi analizlere dahil edilmiştir ve % kırım üzerindeki etkileri araştırıldı.

Deneyde kullanılan bağımsız değişkenler kültür taşı üretim sürecinde takibi yapılan çevresel koşullarıdır. Bu değişkenler, üretim sonucunu temsil eden bağımlı değişken üzerinde doğrudan etki oluşturmaktadır. Bağımlı değişken ise ürün kalitesini yansıtan ölçüttür. Bağımlı değişken “% kırım oranı” olarak belirttiğimiz ağırlıklı ortalamadır. Üretim aşamaları esnasında farklı miktarlarda döküm ve söküm işlemi olduğundan dolayı, verilerin her birindeki kırım yüzdelerini ağırlıklı ortalama ile tek bir paydada ifade etmek istatistiksel olarak daha mantıklıdır. Ağırlıklı ortalama ifadesi üretim büyüklüğünü hesaba kattığı için daha doğru temsil sunar. Tablo 6.1’de yapılan analizde kullanılan verilerin en alt ve en üst değerleri veri toplama sıklığı verilmektedir. Hava sıcaklığı, nem, harç sıcaklığı kontrol edilemeyen parametrelerdir. Fırın sıcaklığı, fırın nemi ve fırında kalma süresi ise kontrol edilebilir bağımsız değişkenler olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1. Bağımsız Değişkenlerin Alt-Üst Değerleri

DEĞİŞKENLER						
HAVA SICAKLIĞI °C	NEM %	HARÇ SICAKLIĞI °C	FIRIN SICAKLIĞI °C	FIRIN NEMİ %	FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	VERİ TOPLAMA SIKLIĞI
14-36 °C	%38-%55	32-36,5 °C	38-42 °C	%50-%65	12-20 SAAT	GÜNLÜK ORTALAMA VERİ

Verilerin Plackett Burman (Screening) Metodu İle İncelenmesi

Kültür taşı üretim sürecinde etkili olabilecek çok sayıda çevresel ve proses değişkeni dikkate alınarak oluşturulan veri setine, Python yazılımı üzerinden screening metodu uygulandı. Çoklu LR analizinin sonucu, faktörlerin arasındaki ilişkiler Tablo 6.2’de verildi.

Tablo 6.2. Çoklu Lineer Regresyon Analizi

Kodlanmış Katsayılar						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	0,0473	0,0156	3,04	0,004		
HAVA SICAKLIĞI °C	0,0094	0,0326	0,29	0,773	4,57	
NEM %	-0,0124	0,0186	-0,66	0,51	1,88	
HARÇ SICAKLIĞI °C	-0,0231	0,0233	-0,99	0,325	4,06	
FIRIN SICAKLIĞI °C	-0,0212	0,0189	-1,12	0,266	2,51	
FIRIN NEMİ %	0,0075	0,0198	0,38	0,706	2,4	
FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	-0,0022	0,0167	-0,13	0,898	1,94	
HAVA SICAKLIĞI °C*NEM %	-0,0356	0,0508	-0,7	0,487	4,13	
HAVA SICAKLIĞI °C*HARÇ SICAKLIĞI °C	0,0098	0,0432	0,23	0,821	1,73	
HAVA SICAKLIĞI °C*FIRIN SICAKLIĞI °C	0,0437	0,0528	0,83	0,411	5,43	
HAVA SICAKLIĞI °C*FIRIN NEMİ %	0,051	0,0604	0,84	0,402	5,6	
HAVA SICAKLIĞI °C*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	-0,0319	0,0527	-0,6	0,548	5,07	
NEM %*HARÇ SICAKLIĞI °C	0,0098	0,0423	0,23	0,817	4,56	
NEM %*FIRIN SICAKLIĞI °C	-0,0134	0,0261	-0,51	0,609	1,87	
NEM %*FIRIN NEMİ %	-0,0108	0,0312	-0,35	0,73	2,26	
NEM %*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	0,0337	0,0266	1,27	0,212	2,35	
HARÇ SICAKLIĞI °C*FIRIN SICAKLIĞI °C	0,0102	0,0375	0,27	0,786	4,32	
HARÇ SICAKLIĞI °C*FIRIN NEMİ %	-0,041	0,0429	-0,96	0,344	5,27	
HARÇ SICAKLIĞI °C*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	0,0408	0,0358	1,14	0,26	4,69	
FIRIN SICAKLIĞI °C*FIRIN NEMİ %	-0,0186	0,0264	-0,7	0,485	1,74	
FIRIN SICAKLIĞI °C*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	0,0183	0,0227	0,81	0,424	1,86	
FIRIN NEMİ %*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	0,0023	0,0249	0,09	0,928	1,76	

Tablo 6.2’de belirtildiği üzere çoklu regresyon modeli, hem faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini, hem de faktörlerin kendi arasındaki çiftli etkileşimleri ifade etmektedir. Ancak sonuçlar, bu bağımsız değişkenlerin hiçbirinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymaktadır.

Regresyon katsayılarının anlamlılığı, tablodaki “P-Value” değeri ile test edildi. Akademik kabullere göre bir sistemin anlamlı kabul edilebilmesi için $P < 0,05$ istenmektedir. Bu değer ne kadar düşükse sistemin o kadar anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Bu tabloda yer alan hiçbir değişkenin P-değeri 0,05’in altında değildir. Bu da modelde yer alan bağımsız değişkenlerin tamamının bağımlı değişken üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamsız olduğunu göstermektedir. Sayısal olarak en yüksek P değeri fırın nemi ve fırında kalma süresi arasındaki bağlantıda bulunmaktadır. Deney sonucunda bu değer 0,928 bulunmuştur. Bu ifade de bize, bu iki değişkenin birlikte model üzerindeki etkisinin çok zayıf ve rastlantısal olduğunu gösterir.

Modele dahil edilen tüm faktörlerin ve iki faktörün birbiri ile arasındaki ilişkilerin t-değerleri, büyük ölçüde 2'nin altında kalmakta olup, bu durum modeldeki değişkenlerin çoğunun istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamadığını göstermektedir. T değerinin büyüklüğü faktörün model üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Özellikle birçok değişkenin t-değerinin 1'in altında olması, modelin bağımlı değişken olan "% Kırım" üzerindeki açıklayıcılığının zayıf olabileceğine işaret etmektedir. Sayısal olarak en yüksek P değerine sahip "FIRIN NEMİ % * FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT" ifadesine ait T değeri T=0,09'dur. Bu ifadeye göre belirtilen faktörlerin model üzerindeki etkisi oldukça düşük ve rastlantısal olduğu anlamına gelmektedir. Genel anlamda da T değerinin düşük olması faktörlerin model üzerindeki etkilerini açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

$$t = \frac{\text{Coef(Katsayı)}}{\text{Se Coef (Standart Hata)}} \quad (7.3)$$

VIF (Değişenlik Şişirme Faktörü), çoklu doğrusal regresyon modellerinde kullanılan bir istatistiktir. Amacı, her bir bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenlerle ne kadar doğrusal ilişki içinde olduğunu, yani çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearlik) seviyesini ölçmektir. VIF değeri 1'e eşit olduğunda hiçbir çoklu bağlantı ilişkisi kurulmaz, 1 ve 5 arasında olduğunda model içerisinde kabul edilebilir düzeyde çoklu bağlantılar oluşmaya başlar, 5 ve 10 arasında olduğunda orta düzeyde çoklu bağlantılar kurulmaya başlar ve 10'un üzerinde olduğunda ciddi multicolineerlik başlar ve model yeniden değerlendirilmelidir. Kendi veri setimizi gözlemlediğimizde VIF değerlerimizin büyük çoğunluğu 1 ile 5 arasında yer almakta 5'ten büyük olanlar ise 5'in sınırında bulunmaktadır. Veri tablosundaki "HAVA SICAKLIĞI °C*FIRIN NEMİ %" =5,60, "HAVA SICAKLIĞI °C*FIRIN SICAKLIĞI °C" VIF=5,43, "HAVA SICAKLIĞI °C*FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT" VIF=5,07 ve "HARÇ SICAKLIĞI °C*FIRIN NEMİ %" VIF=5,27 gibi değerler bağımsız değişkenler ile anlamlı doğrusal ilişkiler kurmakta ve bunlara bağlı olarak da çoklu bağlantı riskine işaret etmektedir. Bu durumun sonucunda regresyon katsayılarının tahmininde güvenilirliğin şüpheli olduğunu göstermektedir. Çoklu bağlantı, standart hataların büyümesine ve dolayısıyla p-değerlerinin anlamlılık düzeyini yanıltıcı hale getirmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, yüksek VIF değerine sahip değişkenlerin modelden çıkarılması, yeniden düzenlenmesi ya da ana bileşen analizi gibi yöntemlerle ele alınması gerekmektedir.

Tablo 6.3. Screening Deney Tasarımı Özet Modeli

Özet Model			
S	R ²	Düzeltilmiş R ²	R ² Tahmini
6,52%	30,77%	2,26%	0,00%

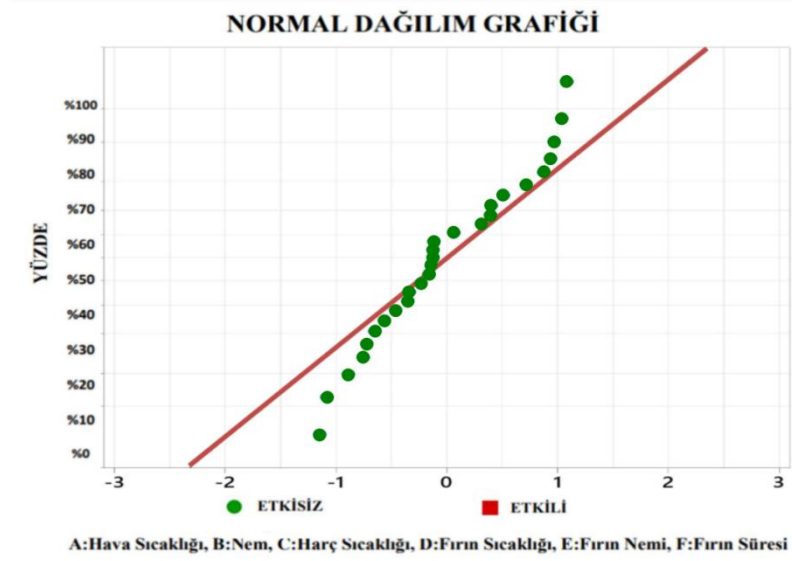
S (Standart Sapma Hatası) modelin tahmin ettiği değerlerin gerçek gözlemlerden ortalama olarak ne kadar saptığını gösterir. Daha basit bir ifade ile standart sapma değerinin saptması şeklinde ifade edilmektedir. Modelin doğruluğu için düşük olması tercih edilmelidir. Modelin ortalama tahmin hatasının büyüklüğünü gösterir. Model, bağımlı değişkeni ortalama olarak $\pm 0,0652$ 'lik bir sapmayla tahmin etmektedir.

R² değeri, modelin veri setindeki toplam varyansın sadece %30,77'sini açıkladığını göstermektedir.

Yani faktörlerimiz "% Kırım" üzerindeki değişimin yaklaşık olarak üçte birini açıklayabilmektedir. Bu, istatistiksel olarak zayıf bir açıklama gücü anlamına gelmektedir. R² değeri 0 ile 1 arasında değerler alır. Büyük olması istenmektedir. R² değerinin büyüklüğü modelin istatistiksel olarak açıklayabilme gücünü ifade etmektedir.

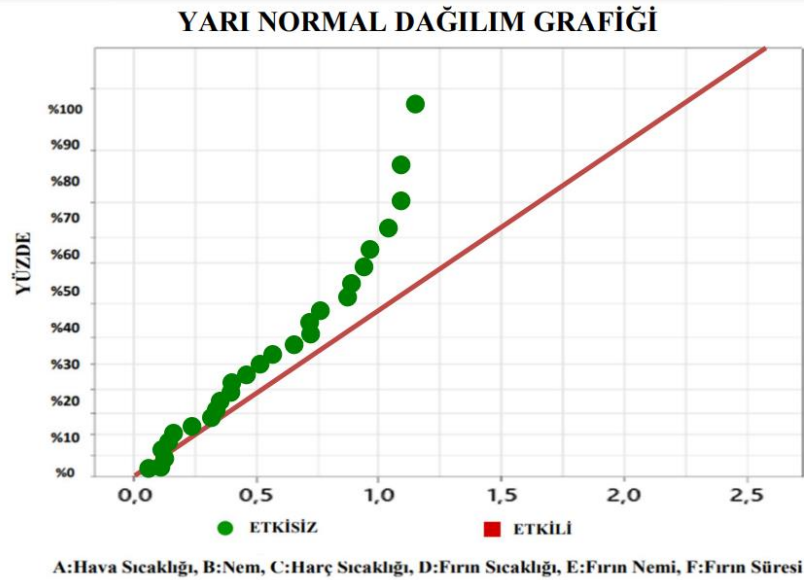
Düzeltilmiş R², modeldeki çok sayıda faktörün etkisini hesaba katar. Bu değer bu kadar düşük olması (%2,26), modelde gereksiz ya da anlamsız değişkenlerin çok sayıda olduğunu ve modelin aslında çok zayıf bir açıklayıcılığa sahip olduğunu gösterir.

Model, istatistiksel olarak zayıf bir açıklayıcılığa sahiptir. Özellikle düzeltilmiş R² ve tahmini R² değerlerinin düşük olması, bağımsız değişkenlerin çoğunun istatistiksel olarak anlamsız veya fazla sayıda olduğunu, modelin ise karmaşık ama etkisiz olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.2. Normal Dağılım Grafiği

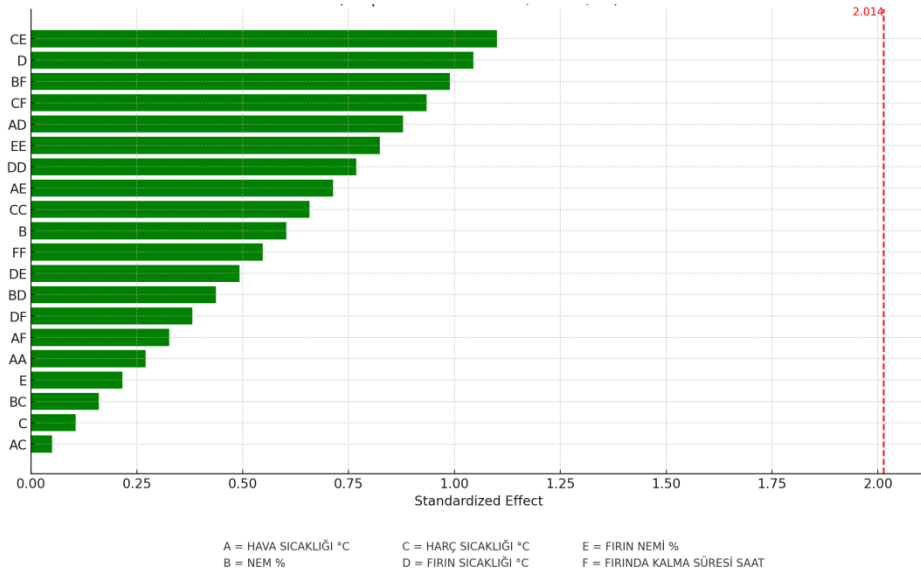
Bu grafik regresyon analizinde yer alan faktörlerin önemini görsel olarak değerlendirmek için kullanılmaktadır. Modelde yer alan faktörlerin kırım üzerindeki etkilerini, istatistiksel anlamlılık düzeyinde değildir. Bu da, modelin açıklayıcılığının düşük olduğunu ve daha güçlü tahminler yapılabilmesi için ya model yapısının ya da veri setinin gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6.3. Yarı Normal Dağılım Grafiği

Yarı normal dağılım grafiği de, modeldeki tüm faktör ve etkileşimlerin etkilerinin, tesadüf sınırları içinde olduğunu göstermektedir. Grafik üzerinde kırmızı çizgiden

anlamli biçimde uzaklaşan bir faktör bulunmaması, hiçbir değişkenin kırım miktarına anlamli etkisi olmadığını göstermektedir.



Şekil 6.4. Pareto Analizi

Pareto analizi grafiği bize değişkenlerin çıktı üzerindeki etkilerini anlatmaktadır. Şekil 6.4'te görüleceği üzere minimum anlam seviyesi olan kırmızı çizgi (2,014) değerinin karşılanamadığı ve faktörlerin bağımlı değişken üzerinde bir anlam ifade etmediği görülmektedir.

Yapılan analizlerin sonuçları ve regresyon denklemi, üretim sürecinde yer alan faktörlerin tek başlarına ya da etkileşimli olarak kırılma miktarı üzerinde istatistiksel olarak anlamli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Tüm etkiler standart dağılım çizgisine yakın konumlanarak rastlantısal varyasyon dahilinde kalmıştır. Bu sonuçlar, incelenen proses parametrelerinin mevcut koşullarda kırılma oranı üzerinde belirleyici olmadığını ifade etmektedir.

6.2. Düzenlenmiş Verilerin PB (Screening) Metodu İle İncelenmesi

Veri setini düzenlemek, istatistiksel analizler, makine öğrenmesi ya da regresyon gibi modelleme işlemleri yapılmadan önce veri kalitesini artırmak, analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için yapılan bir adımdır. Bu adımda düzenlenen veri setinin çıktıları incelendi. Aşırı uç değerlerin modelin yönünü yanlış etkilemesi engellenecek şekilde veri seti oluşturuldu. Ara değerlere sahip

tamamlayıcı verilerin tespiti sağlandı ve eksiksiz bir veri dizisi oluşturuldu. Ayrıca analizle ilgili gereksiz veriler temizlenerek sistemin yalınlığı sağlandı.

Tablo 6.4. Düzenlenmiş Verilerin Çoklu Lineer Regresyon Analizi

Term	Kodlanmış Katsayılar			T-Value	P-Value	VIF
	Coef	SE Coef	95% CI			
Constant	2,35	0,265	(1,759; 2,941)	8,85	0	
HAVA SICAKLIĞI	-0,231	0,265	(-0,823; 0,360)	-0,87	0,404	1
NEM	-0,494	0,265	(-1,085; 0,098)	-1,86	0,092	1
HARÇ SICAKLIĞI	-0,175	0,265	(-0,766; 0,416)	-0,66	0,525	1
FIRIN SICAKLIĞI	0,087	0,265	(-0,504; 0,679)	0,33	0,748	1
FIRIN NEMİ	-0,062	0,265	(-0,654; 0,529)	-0,24	0,819	1
FIRIN SÜRESİ	0,088	0,265	(-0,504; 0,679)	0,33	0,748	1
HAVA SICAKLIĞI*NEM	-0,075	0,265	(-0,666; 0,516)	-0,28	0,783	1
HAVA SICAKLIĞI*HARÇ SICAKLIĞI	0,419	0,265	(-0,173; 1,010)	1,58	0,146	1
HAVA SICAKLIĞI*FIRIN SICAKLIĞI	0,394	0,265	(-0,198; 0,985)	1,48	0,169	1
HAVA SICAKLIĞI*FIRIN NEMİ	0,419	0,265	(-0,173; 1,010)	1,58	0,146	1
HAVA SICAKLIĞI*FIRIN SÜRESİ	-0,331	0,265	(-0,923; 0,260)	-1,25	0,24	1
NEM*HARÇ SICAKLIĞI	0,419	0,265	(-0,173; 1,010)	1,58	0,146	1
Term	Coef	SE Coef	95% CI	T-Value	P-Value	VIF
NEM*FIRIN SICAKLIĞI	0,069	0,265	(-0,523; 0,660)	0,26	0,801	1
NEM*FIRIN NEMİ	-0,031	0,265	(-0,623; 0,560)	-0,12	0,909	1
NEM*FIRIN SÜRESİ	0,644	0,265	(0,052; 1,235)	2,43	0,036	1
HARÇ SICAKLIĞI*FIRIN SICAKLIĞI	0,375	0,265	(-0,216; 0,966)	1,41	0,188	1
HARÇ SICAKLIĞI*FIRIN NEMİ	0,188	0,265	(-0,404; 0,779)	0,71	0,496	1
HARÇ SICAKLIĞI*FIRIN SÜRESİ	0,163	0,265	(-0,429; 0,754)	0,61	0,554	1
FIRIN SICAKLIĞI*FIRIN NEMİ	0,212	0,265	(-0,379; 0,804)	0,8	0,442	1
FIRIN SICAKLIĞI*FIRIN SÜRESİ	0,137	0,265	(-0,454; 0,729)	0,52	0,616	1
FIRIN NEMİ*FIRIN SÜRESİ	-0,35	0,265	(-0,941; 0,241)	-1,32	0,217	1

Yapılan çoklu regresyon analizinde, bağımlı değişkeni üzerinde etkili olabileceği faktörler ve bu faktörlerin ikili etkileşimleri dahil edildi.

Tablo 6.4'teki sonuçlara göre, sadece "Nem*Fırında Kalma Süresi" etkileşimi, bağımlı değişken üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir ($p = 0,036 < 0,05$). Bu, bu iki değişkenin birlikte ele alındığında kırıma üzerinde önemli bir etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Diğer ana etkiler ve etkileşimlerin tamamı anlamlılık sınırının üzerinde yer almakta olup, modeli olumsuz etkilemektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda model sadeleştirilebilir ve yalnızca anlamlı terimler içeren daha yalın bir yapı oluşturulabilir.

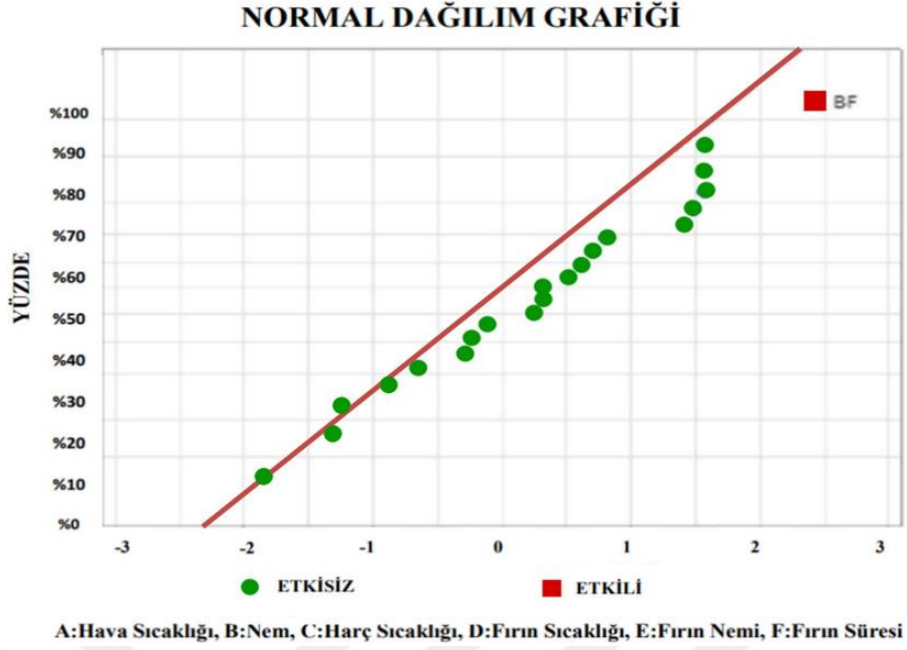
Düzenlenmiş veri setinde VIF değerleri tüm değişkenler için $VIF=1$ olarak tespit edildi. Bu sonuç, regresyon modelinizde yer alan bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan doğrusal ilişkilerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu ve çoklu doğrusal bağlantının bulunmadığını göstermektedir. Hiçbir bağımsız değişken, diğerleriyle anlamlı bir doğrusal ilişki içerisinde değildir. Her bir değişken modele istatistiksel olarak bağımsız katkı sağlamaktadır. Modelde değişkenler arası multicolineerlik sorunu yoktur, bu da tahmin edilen regresyon katsayılarının güvenilirliğini arttırmaktadır. VIF değerlerinin 1 olması, veri setinin istatistiksel açıdan iyi yapılandırıldığını, değişken seçimini uygun yaptığını ve modelin çoklu doğrusal bağlantıdan etkilenmeden geçerli sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Tablo 6.5. Düzenlenmiş Modelin Özet Tablosu

Özet Model						
S	R ²	Düzeltilmiş R ²	PRESS	R ² Tahmini	AICc	BIC
1,50142	73,49%	17,81%	230,835	0,00%	263,6	159,31

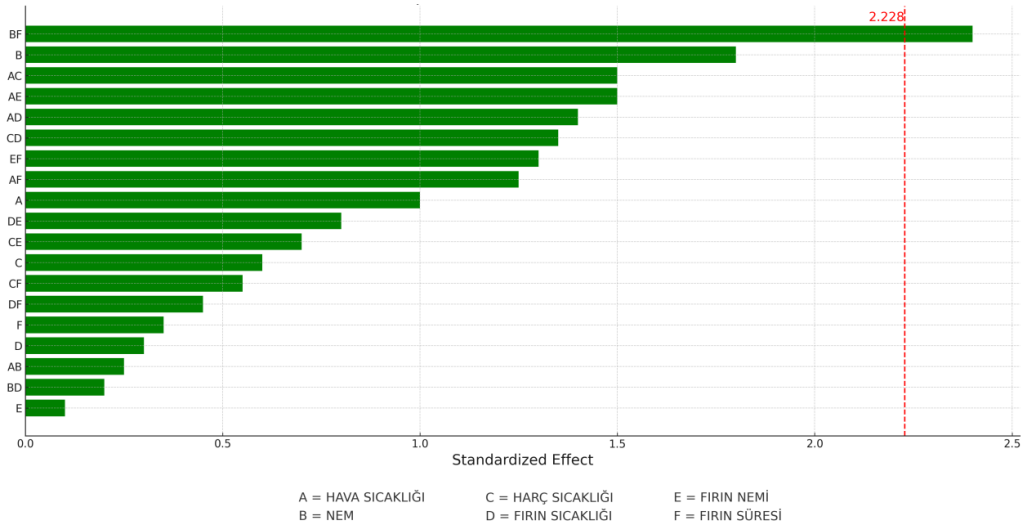
%73,49'luk bir R² değeri, modelin veri setindeki bağımlı değişkenin (örneğin % kırım) toplam varyansının %73,49'unu açıkladığını göstermektedir. Orijinal veri setine göre 2 kattan daha fazla açıklayabilme gücüne sahip olduğunu belirtmektedir. Ancak, bağımsız değişken sayısı dikkate alınarak düzeltilmiş belirleme katsayısı yani düzeltilmiş R² değeri %17,81 gibi oldukça düşük bir seviyede kaldı. Bu durum, modele dahil edilen değişkenlerin büyük kısmının istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sunmadığını ve modelin aşırı parametreyle yüklenmiş olabileceğini göstermektedir. Nem*Fırında Kalma Süresi" etkileşimi hariç diğer tüm etkileşimlerin %5'ten daha büyük değere sahip olduğu açıkça görülebilmektedir.

R² Tahmini=0,00% değeri, modelin yeni veya dış veriler üzerinde hiçbir tahmin gücüne sahip olmadığını göstermektedir. Bu ciddi bir problemdir ve genelleme yeteneğinin olmadığını gösterir. Model kendisine tanımlanan eğitim veri setine uyum sağlamış ama dış verilere karşı tahmin açıklayabilirliğine sahip değildir.



Şekil 6.5. Düzenlenmiş Veri Normal Dağılım Grafiği

Şekil 6.5'te bağımlı değişken için elde edilen standartlaştırılmış etki katsayılarının normal dağılım referans çizgisiyle karşılaştırılmasını göstermektedir. %5 anlamlılık düzeyine göre, Yalnızca bir nokta (kırmızı kare, "BF") referans çizgisinden anlamlı biçimde uzaklaşmaktadır. Diğer tüm yeşil daireler istatistiksel olarak anlamsız etkiler göstermektedir. Bu durum, önceki regresyon sonuçlarıyla tutarsızdır; "Nem ile Fırında Kalma Süresi" etkileşiminin $p = 0,036$ ile tek anlamlı terim olduğu tespit edildi. Grafiğin çoğunlukla referans çizgiyi izlemesi, modeldeki diğer faktör ve etkileşimlerin kırılma üzerindeki etkisinin rastlantısal varyasyon sınırları içinde kaldığını ve yalnızca B×F ikilisinin kırılma performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 6.6. Düzenlenmiş Veri Pareto Analizi

Şekil 6.6’da faktörlerin bağımlı değişken üzerindeki etki kuvveti gösterilmiştir. $p = 0,05$ anlamlılık eşikini kırmızı kesik çizgi ($\approx 2,228$) ile işaret etmektedir. “Nem ile Fırında Kalma Süresi” etkileşimi modelde istatistiksel olarak anlamlı tek terimdir. B (Nem), AC (Hava Sıcaklığı $\times$ Harç Sıcaklığı), BC, AE, AD, EF, AF gibi terimler ikinci kademe etki büyüklüklerine sahiptir ancak eşik değerin altında kalarak anlamlılığa ulaşamamaktadır. Listenin alt sıralarında yer alan AB, BD, E, BE gibi terimler çok küçük standart etkiler göstermekte ve sürece anlamlı katkı sağlamamaktadır. Dolayısıyla süreç optimizasyonu açısından birinci derecede odak noktası olarak yalnızca BF etkileşimi seçilmektedir.

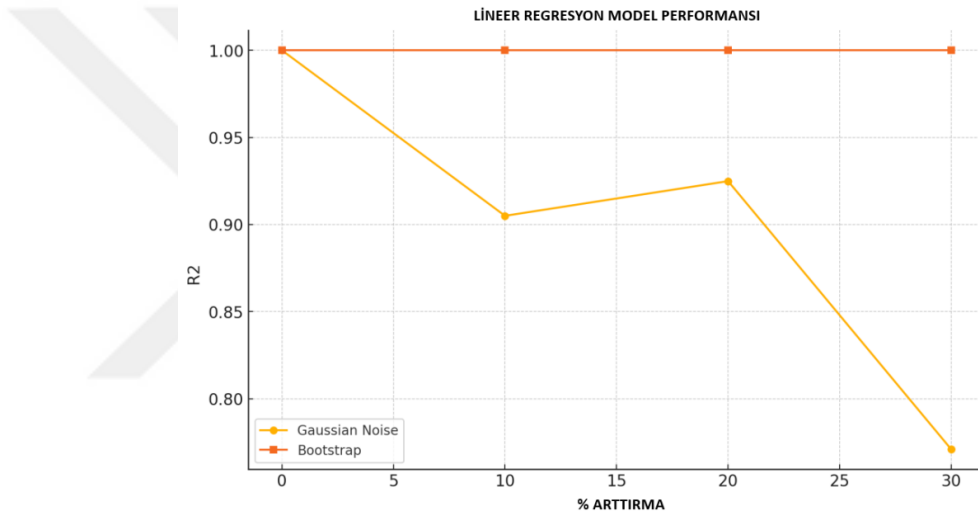
6.3. Arttırılmış Veri Setlerinin Anlam Düzeyi

Toplam verilerimizin rastgele %20’si eğitim seti için ayrıldı geri kalanı ise modeli oluşturmak ve test etmek için kullanıldı. Eğitim setine ayrılan veriler rezerve edildikten sonra geriye kalan veri setimiz ($n=58$) ve üzerine uygulanan iki farklı artırma yöntemi (Gaussian noise ve Bootstrap) ile üç modelin (Lineer Regresyon, Random Forest, Gradient Boosting) performansları test edildi. Özgün veri seti üzerinde Lineer Regresyon modeli mükemmel bir uyum sergileyerek $R^2 = 1$ değerine ulaştı. Buna karşılık Random Forest ($R^2 = -0,11$) ve Gradient Boosting ($R^2 = -0,16$) modelleri negatif R^2 skorlarıyla anlamlı bir performans gösteremedi.

Ardından veri seti, %10, %20 ve %30 oranlarında Gaussian noise eklenerek arttırıldı, bu durumda Lineer Regresyon’ın R^2 skorları sırasıyla 0,9050, 0,9249 ve 0,7710’e

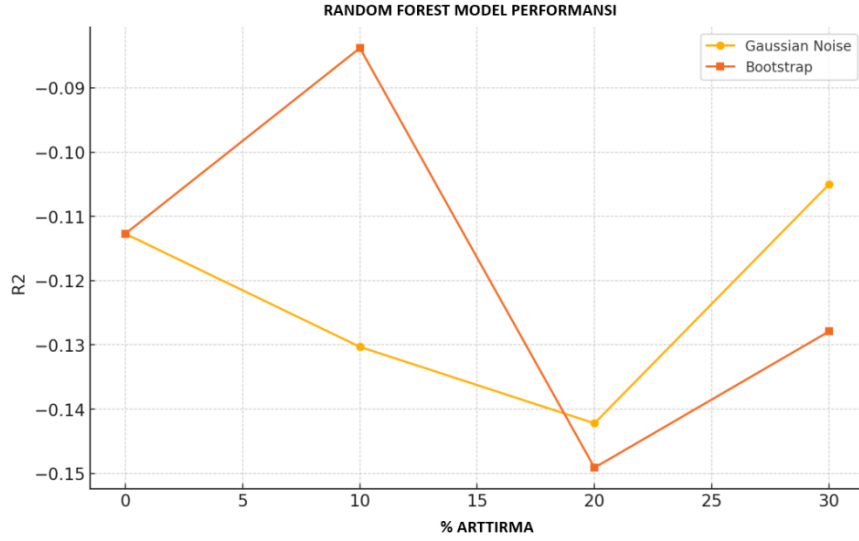
geriledi, modelin aşırı uyum (overfitting) sorununun bir nebze hafiflediğine işaret etmektedir. Aynı artırım Random Forest ve Gradient Boosting modellerinde yalnızca sınırlı iyileşme sağlamaktadır. %30'da RF $R^2 = -0,1050$ 'dan $-0,0812$ 'ye, GB $R^2 = -0,1575$ 'ten $-0,1028$ 'e yükseldi ancak her iki yöntem de halen veri setinin varyansını doğru yakalayamamaktadır.

Bootstrap ile gerçekleştirilen artırmada ise Lineer Regresyon her üç seviyede de $R^2 = 1,00$ 'de kaldı; bu, bootstrap'le çoğaltılan örneklerin modele gerçek bilgi ekmediğini, aşırı uyum durumunun sürdüğünü göstermektedir. Random Forest ve Gradient Boosting ise bootstrap'te de negatif R^2 değerlerini (+%10'da RF = $-0,0838$; GB = $-0,0764$) koruyarak düşük genelleme yeteneği sergiledi.



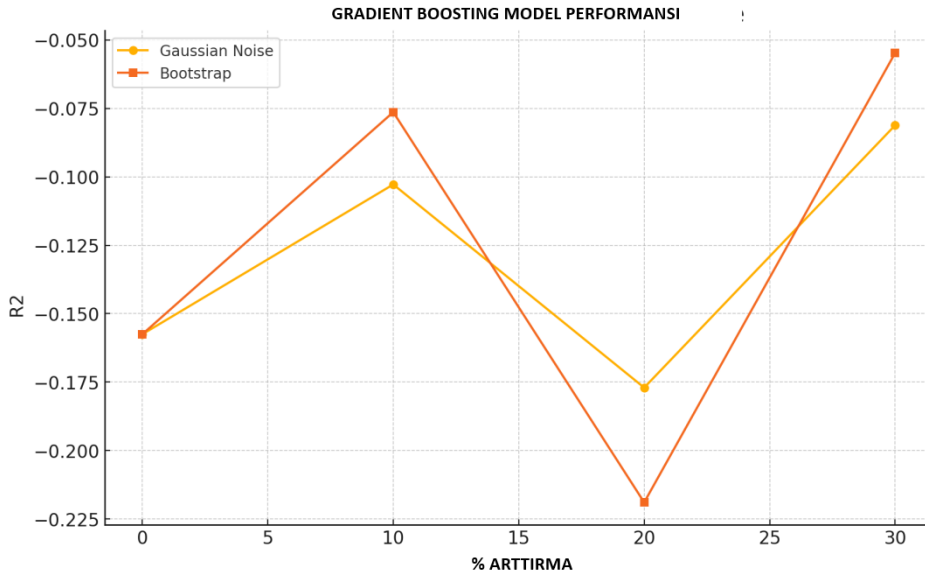
Şekil 6.7. Lineer Regresyon Modeli Performans Grafiği

Lineer regresyon analizi için gaussian noise uygulamasında %0'dan %10'a geçişte R^2 1,00'den 0,905'e düştüğü görüldü. Devamında %20'de 0,925, %30'da 0,771 değerlerini alarak modelin overfitting etkisinin azaldığını, ardından %30'da aşırı sapma nedeniyle performansının düştüğünü gösterir. Bootstrap uygulamasında tüm oranlarda $R^2 = 1,00$ sabit kaldı; bu, örneklem tekrarıyla oluşturulan veri setinin modele yeni bilgi ekmediğini ve aşırı uyumun sürdüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 6.8. Random Forest Modeli Performas Grafiği

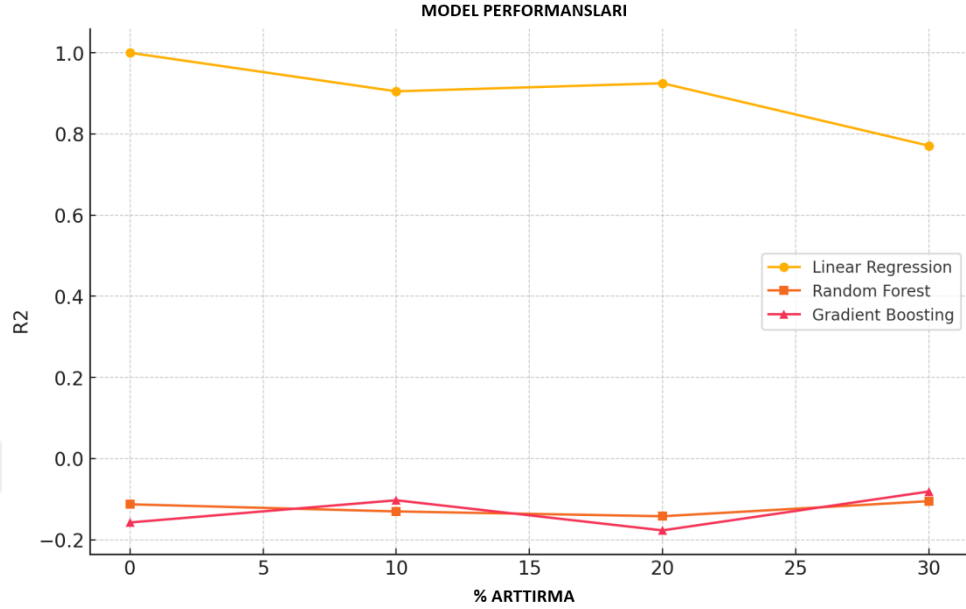
Gaussian Noise ile %0'da -0,113, %10'da -0,130, %20'de -0,142, %30'da -0,105 skorları, modelin veri artırma sonrası hala negatif R^2 değerleriyle yeni veride bile temel ortalamadan kötü çalıştığını göstermektedir. Bootstrap uygulaması sınırlı iyileşme sağlayarak %10'da -0,084'e çıkmış, ancak %20'de -0,149'a geriledi, %30'da tekrar -0,128'e, yani genel olarak genelleme gücünün düşük kaldığını işaret etmektedir.



Şekil 6.9. Gradient Boosting Modeli Performas Grafiği

Gaussian Noise için R^2 değerleri: %0'da -0,157, %10'da -0,103, %20'da -0,177, %30'da -0,081; burada da %30'a kadar bir miktar toparlanma olsa da hala negatif

skorlarla başarısızlığı sürmektedir. Bootstrap uygulamasında benzer negatif trend: %0'da -0,157, %10'da -0,076, %20'da -0,219 (en düşük), %30'da -0,055; yine yeterli genelleme sağlanamadığını doğrulamaktadır.



Şekil 6.10. Model Performansı Karşılaştırma Grafiği

Üç modelin sadece Gaussian Noise artırması altındaki R^2 skorları karşılaştırıldığında, Linear Regression açık ara daha yüksek bir performans gösterirken, Random Forest ve Gradient Boosting kritik eşiğin (0'ın altında) altında kalarak negatif bölgede yer almaktadır. Yapılan veri arttırma tekniklerinin dahi mevcut firmanın performansını ortaya koyacak niteliklerde olmadığı sonucuna varılmaktadır. Kontrol edilebilen ve edilemeyen parametrelerin varlığı model performansını da ciddi şekilde etkilemektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Veri çoğaltma yöntemleri, özellikle sınırlı sayıda ve yüksek varyanslı örnek içeren veri setlerinde modellerin genelleme kabiliyetini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, kültür taşı kırılma verilerine hem Gaussian noise ekleme hem de bootstrap örnekleme olmak üzere iki farklı veri arttırma tekniği uygulanmış ve üç ayrı model, Lineer Regresyon, Random Forest ve Gradient Boosting üzerinde çeşitlendirilmiş eğitim kümeleri üzerinde değerlendirilmiştir.

Analizler, Lineer Regresyon modelinin orijinal veri seti ($n = 58$) üzerinde aşırı uyum göstererek $R^2 = 1,00$ değerine ulaştığını, ancak Gaussian noise ile %10–20 artırım uygulandığında bu değer sırasıyla 0,905 ve 0,925'e gerileyip modelin multicolineerliğinin kırıldığını göstermektedir. %30 artırım seviyesinde ise $R^2 = 0,771$ 'e kadar gerileyerek model performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur. Buna karşın, aynı Lineer Regresyon modeli bootstrap ile veri çoğaltıldığında artırılan örnekler modele yeni bilgi katmamış, R^2 değeri tüm seviyelerde yine 1,00'den sapmamış ve dolayısıyla genelleme yeteneği tamamen ortadan kalmış modelde overfitting etkileri görülmüştür. Yani temelde model, eğitim setine aşırı uyum göstermiş, eğitim verisindeki örnekleri ve hatta veri içindeki gürültü ve rastlantısal sapmaları çok iyi ezberlemiş, yeni veriler üzerinde zayıf tahmin performansı göstermiştir. Model, eğitim setindeki desenlerin ötesine genelleme yapmayı öğrenememiştir.

RF ve GB modellerinde ise ne gaussian noise ne de bootstrap yöntemleri ile anlamlı bir performans iyileşmesi sağlanamamış; bu yöntemler, bazen orijinal model performansını daha da kötüleştirmekte ve temel ortalamayı dahi aşamayan negatif skorlar üretmektedir.

Bu durum, augmentation tekniklerinin model mimarisine ve veri setinin yapısına göre ters etki yaratabileceğini göstermektedir. Nitekim RF ve GB'de veri dağılımını ne gaussian noise ne de bootstrap yöntemleri ile olumlu anlam seviyelerine yükseltilemediği görülmüştür.

Veri arttırma tekniğinin işe yaramadığı bu tip durumlarda öncelikle veri kalitesini ve doğruluğunu gözden geçirip, hatalı veya tutarsız örnekleri düzeltmek veya elimine etmek modelin performansını geliştirebilir. Yeterli ve çeşitli gerçek veri elde etmek mümkünse bunu değerlendirmek en sağlam çözümdür. Veri toplama imkanının daha az olduğu durumlarda farklı veri arttırma teknikleri de denenebilir. Farklı veri üretim yöntemleri denenerek veri çeşitliliğini arttırmak veya ihtiyaca uygun farklı sentetik veri stratejileri geliştirmek performansı iyileştirebilir. Bu sayede model, gerçek dünya varyasyonlarına daha dayanıklı hale gelebilir ve genelleme kapasitesi güçlenebilir.



KAYNAKLAR

- Ağaca, Meriç. Geçirimsizlik sağlayan beton katkılarından korozyonuna etkisi. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- Ağraş, Süleyman, and Aykut İnanoğlu. "ÜRETİM STRATEJİLERİNİN BELİRLENMESİNDE REKABETÇİ GÜÇLERİN ROLÜ." Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 12.2 (2022): 697-716.
- AİTCİN, P.C. 5—Water and its role on concrete performance. In Science and Technology of Concrete Admixtures; AİTCİN, P.-C., Flatt, R.J., Eds.; Woodhead Publishing: Sawston, CA, USA, 2016; pp. 75–86.
- Aksay, E. ve diğerleri 2016. Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Alpaydın, E. (2020). Introduction to Machine Learning (4th ed.). MIT Press.
- Antony, J. (2014). Design of Experiments for Engineers and Scientists. Elsevier.
- Armağan, C.Ç. (2011). Fenomenolojik yöntem ve tektonik dil aracılığı ile materyale duyarlı tasarım. (Yüksek lisans tezi) YÖK Tez Merkezi. (Tez No. 295418)
- ASTM C666
- Bariş Çamli, Selin. Doğal yapı taşları endüstrisinde kullanılan paketleme sistemleri ve standartları. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BEDİR HANOĞLU, İdris. "DİYARBAKIR'DAKİ YAPILARIN DEPREM DAYANIMI."
- Bezuidenhout, A. W., et al. "The shape of sand particles: Assessments of three-dimensional form and angularity." Soils and Foundations 64.2 (2024): 101437.
- Bishop, C. M. 2006, Pattern Recognition and Machine Learning, s. 536
- Boehmke, Bradley; Greenwell, Brandon (2019). "Bagging". Hands-On Machine Learning with R. Chapman & Hall. pp. 191–202. ISBN 978-1-138-49568-5.
- Borrer, Connie M., Douglas C. Montgomery, and Raymond H. Myers. "Evaluation of statistical designs for experiments involving noise variables." Journal of Quality Technology 34.1 (2002): 54-70.
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). "Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery"
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery (2nd Edition). Wiley.
- Breiman, L. (2001). Random forests, Machine Learning. 45, 5–32.
- Camci, Seyfettin. Alışveriş merkezlerinde kullanılan enerji sistemlerinin enerji etüd raporunun hazırlanması ve güneş enerjisi ile enerji tasarrufu sağlanması; Rings avm örneği. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.

- Cook, R. D. (2015). Linear Hypothesis: Regression (2nd ed. vol. 13). Elsevier.
- Courland, Robert (2011). Beton gezegen: dünyanın en yaygın insan yapımı malzemesinin garip ve büyüleyici hikayesi . Amherst, NY: Prometheus Books
- Cultured Stone
- Çelik, Mustafa Yavuz. "Dekoratif doğal yapı taşlarının kullanım alanları ve çeşitleri." (2003).
- Davraz, Metin, Ş. Kılınçarslan, and Murat Koru. "Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri." Ulusal beton kongresi, Antalya (2015): 93-102.
- Demir, L. (2004). İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eker, Özge. Lojistik yönetimi ve tedarik lojistiği sürecinde performansın artırılması. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Ekwaro-Osire, Henry, et al. "Data augmentation for numerical data from manufacturing processes: an overview of techniques and assessment of when which techniques work." Industrial Artificial Intelligence 3.1 (2025): 1-19.
- Erdil, Ayşenur. "Deney Tasarımının Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Önemi: Otomobil Endüstrisindeki Bir Fabrikada Uygulaması." Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 24 (2020): 527-558.
- ERDOĞDU, Şakir, and Şirin KURBETÇİ. "BETONUN PERFORMANSINA SAĞLADIKLARI ETKİNLİK AÇISINDAN KİMYASAL VE MİNERAL KATKI MADDELERİ."
- Eroğlu, Gonca, and Mesut Şahiner. "Dünyada ve Türkiye’de pomza." MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara (2020).
- EZER MASONRY
- EZER Masonry, The Journey of Cultured Stone (
- Friedman, J. H. (2001). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. The Annals of Statistics, 29(5), 1189–1232.
- G. Tanyeli and U. Tanyeli, "Osmanlı Yüzer Köprüleri," ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 10, no. 1-2, pp. 5–17, 1990, Accessed: 00, 2020. [Online]. Available: http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/1990/cilt10/sayi_1_2/5-17.pdf.
- Gencer, İ. (2007). Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Gladkov, Fyodor. Çimento. YORDAM KİTAP, 2018.
- Goodfellow, I. et al. (2014). Generative Adversarial Nets. Advances in Neural Information Processing Systems, 27, 2672–2680.
- Gökçe, Barış, and S. Taşgetiren. "Kalite Dcin Deney Tasarımı." Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 6.1 (2009): 71-83.

- Gülşahin, Seda. Taze betonda segregasyonun ölçülmesi ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Gülşahin, Seda. Taze betonda segregasyonun ölçülmesi ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Harris, C. M., & Cotgrave, A. J. (2015). *Construction Technology: An Illustrated Introduction*. London: Routledge.
- Hava Sürükleyici Katkıların Karakterizasyonu Ve Deney Koşullarının Betonun Donma-çözülme Hasarına Etkisi(Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013-07-19) Şahin, Yuşa ; Taşdemir, Mehmet Ali ; 10007700 ; Yapı Mühendisliği ; Structural Engineering
- Hilal, Ameer A. "Microstructure of concrete." *High performance concrete technology and applications* (2016): 3-24.
- <https://www.betonvecimento.com/beton-2/betonda-gorulebilecek-problemler>
- <https://www.britannica.com/technology/masonry>
- Hündür, Esra Yıldız. İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ile plastik kompozit üretiminde reçete ve proses tasarımına dair bir uygulama. MS thesis. Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2019.
- Karagüler, Mustafa Erkan. "Mimari beton uygulamaları." *Hazır Beton Kongresi. İstanbul 75* (2013).
- Kılıç, Gülşen Bağcı, Esra Yardımcı, and Duygu Metin. "Fen öğretiminde değişkenler nasıl adlandırılabilir?." *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 9.2 (2009): 13-26.
- Kingma, D. P., & Dhariwal, P. (2018). Glow: Generative Flow with Invertible 1×1 Convolutions. *NeurIPS*, 31, 10236–10245.
- Kirk-Othmer. (2007). *Encyclopedia of Chemical Technology*, Volume 18. Hoboken: Wiley-Interscience.
- Koleske, Joseph V. *Paint and coating testing manual: of the Gardner-Sward handbook*. ASTM international, 2012.
- Koller, D., & Friedman, N. (2009). *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*. MIT Press.
- Kurugöl, Sedat, and Sezgi Giray Küçük. "Tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri. 5." *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum* (2015): 521-536.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Pearson Education.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). 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.). Wiley.

- Özcan, Fatih, and Cengiz Duran Atış. "SİLİS DUMANI İLE ÜRETİLEN HARÇLARIN KARBONATLAŞMA VE RÖTRE ÖZELLİKLERİ." Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 6.2 (2017): 634-641.
- Özdemir, Ali, and Aslı Özdemir. "TALEP TAHMİNLEMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI: SERAMİK ÜRÜN GRUBU FİRMA UYGULAMASI." Ege Academic Review 6.2 (2006): 105-114.
- Özgüner, Zeynep. "Lojistik faaliyetlerin süreçsel etkinliğinde rol oynayan değişkenlerin işletme performansına etkisinde lojistik performansın aracılık (Mediator) rolü." (2017).
- Özkan, Şafak G., and Güngör Tuncer. "Pomza madenciliğine genel bir bakış. 4." Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118 (2001): 200-207.
- Plackett, R. L., & Burman, J. P. (1946). The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*, 33(4), 305–325.
- [ps://ezermasonry.com/history-and-evolution-of-cultured-stone-from-origins-to-cultured-stone/](https://ezermasonry.com/history-and-evolution-of-cultured-stone-from-origins-to-cultured-stone/))).
- Roy, R. K. (2010). A Primer on the Taguchi Method (2nd Ed.). Society of Manufacturing Engineers (SME).
- Sakarya, Kemal. "A METHOD ABOUT THE ARTIFACT DESIGN FOR INDOOR SURFACE: SILICONE MOLD TECHNOLOGY." *Mugla Journal of Science and Technology* 2.2 (2016): 83-88.
- Shorten, C. & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data*, 6(60).
- Shorten, C., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data*, 6(1), 60.
- Smith, A. L., & Johnson, T. (2018). "Advances in UV Resistance Testing for Decorative Coatings." *Journal of Coatings Technology and Research*, 15(3), 45-56.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G., 2018, Reinforcement Learning: An Introduction, s. 4
- Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer Science & Business Media.
- Şahin, Remzi. "Normal portland çimentolu betonların don direncinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu ve hasar analizi." (2003).
- Şenoğlu, Birdal, and Şükrü Acıtaş. İstatistiksel Deney Tasarımı-Sabit Etkili Modeller. Nobel Akademik Yayıncılık, 2011.
- ŞİŞMAN, Aziz, and Yasemin ŞİŞMAN. "MESKEN DEĞERLEMEDE FAKTÖRİYEL TASARIM UYGULAMASI: SAMSUN İLİ ÖRNEĞİ." 2013, MAYIS
- Taylan, D. (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması. (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TS EN 12378-2
- TS EN 12390-2

TS EN 12390-3

TS EN 12390-6

TS EN 12390-9

TS EN 13748-2

TS EN 934-2/Mart 2002

Tunçez, Fatma Didem. "Sürdürülebilir Çimento Üretiminde Çevre Yönetimi Yasal Bileşenleri." *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi* 4.1 (2021): 41-56.

Ünsal, Ali, and H. Şen. "Beton ve beton malzemeleri laboratuvar deneyleri." *TC Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü* (2008): 1-8.

Voss, A.,D.,D. 1999 "Design and Analysis of Experiments" Springer, 7-8 Ohio

Yağlı, Fatma. Çevre muhasebesi ve mermer işletmeleri uygulaması (Ermaş madencilik Tur. San. ve Tic. AŞ örnek uygulaması). MS thesis. Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006.

Yalcinkaya, Senai, Burak Yıldız, and Mazlum Borak. "OPTİK 3B TARAMA TEKNOLOJİLERİ." *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry* 3.1 (2019): 67-75.

Yayın Bilgisi : 48/2003-5 Yayın Türü : TMH Basım Tarihi : 01.10.2003 Basım Yeri : Yazar(lar) :Cilt :Sayı : 427

Yerlikaya, F. 2013. Paklitaksel nanopartiküllerinin kalite tasarımı ile geliştirilmesi ve değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yıldız, Bengi, and Nazire Papatya Seçkin. "Mimaride malzemelerin algısal farklılıklarının değerlendirilmesi." *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 1.2 (2019): 6-14.

Yüzer, Ali Fuat. İstatistik. Vol. 1448. Anadolu Üniversitesi, 2009.Sapolsky, R. M. (2017). *Behave: The biology of humans at our best and worst*. Penguin Books.

Tarhan, N. (2012). *Mesnevi terapi*. Timaş Yayınları



EKLER

Tablo A. Kullanılan Veri Seti

Ek B. Yazılım Programı

Ek C. İzin Belgesi



Tablo A. Kullanılan Veri Seti

DÖKÜLEN M ²	SÖKÜLEN M ²	HAVA SICAKLIĞI °C	NEM %	HARÇ SICAKLIĞI °C	FIRIN SICAKLIĞI °C	FIRIN NEMİ %	FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	AĞIRLIKLİ ORTALAMA
61	58	19	48	32	41	64	18,23	0,051724138
3	3	18	55	32	42	55	13,13	0
58	55,5	18	55	32	40	61	12,78	0,045045045
5	5	20	40	33	39	50	18,58	0
60	58	20	40	33	38	51	13,28	0,034482759
27,6	27	25	40	33	41	54	20,17	0,022222222
3	2,5	20	42	33	39	54	15,22	0,2
58	55	20	42	33	42	53	13,25	0,054545455
6	6	18	42	32	40	52	13,87	0
60	57	18	42	32	41	65	18,97	0,052631579
3	2,5	20	48	33	38	55	13,20	0,2
61	60	20	48	33	40	59	14,62	0,016666667
58,5	56,4	14	47	33	40	56	15,30	0,037234043
57	54	19	41	33	40	57	14,67	0,055555556
58	57,6	20	40	33	42	55	18,20	0,006944444
58,8	56,9	20	55	33	40	62	16,07	0,033391916
58	55,5	24	55	32	41	61	13,03	0,045045045
57	55,5	25	54	33	39	55	19,40	0,027027027
60	57	25	48	33	41	59	13,57	0,052631579
4	4	25	48	33	41	50	18,75	0
3	3	25	48	33	42	57	15,13	0

Tablo A. (Devamı) Kullanılan Veri Seti

DÖKÜLEN M ²	SÖKÜLEN M ²	HAVA SICAKLIĞI °C	NEM %	HARÇ SICAKLIĞI °C	FIRIN SICAKLIĞI °C	FIRIN NEMİ %	FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	AĞIRLIKLIL ORTALAMA
4	4	26	48	33	42	50	12,93	0
60	56	26	48	33	40	54	19,32	0,071428571
55	48	21	41	33	41	52	16,02	0,145833333
58	55	21	41	33	39	54	19,45	0,054545455
15	15	24	39	33	42	55	13,53	0
24,5	22,8	24	39	33	39	63	14,32	0,074561404
29,5	29	24	39	33	38	64	17,43	0,017241379
27	20	20	38	33	39	63	13,67	0,35
55	50	20	38	33	39	64	14,43	0,1
57	56	23	38	34	41	62	13,63	0,017857143
27,5	26	27	38	34	39	62	15,72	0,057692308
57	51,2	28	43	34	39	63	16,28	0,11328125
10,2	10	33	41	35	39	55	15,18	0,02
30	24	33	41	35	41	64	17,63	0,25
15	13	33	41	35	39	63	17,97	0,153846154
16,2	14,5	36	38	34	41	59	18,08	0,117241379
36	34,8	33	38	34	42	59	20,17	0,034482759
15	12	31	38	34	41	53	13,10	0,25
46,8	43	31	38	34	40	56	13,00	0,088372093
121	120	30	40	35	41	61	18,25	0,008333333
129	123	28	40	35	42	63	18,72	0,048780488

Tablo A. (Devamı) Kullanılan Veri Seti

DÖKÜLEN M ²	SÖKÜLEN M ²	HAVA SICAKLIĞI °C	NEM %	HARÇ SICAKLIĞI °C	FIRIN SICAKLIĞI °C	FIRIN NEMİ %	FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	AĞIRLIKLIL ORTALAMA
113	108,9	31	44	35	41	56	15,50	0,037649219
10	9,5	31	44	35	40	57	19,08	0,052631579
123	120	31	44	35	39	55	15,92	0,025
40	37	29	44	36	40	53	16,35	0,081081081
44	42	31	44	36	38	60	13,43	0,047619048
72,5	70,2	31	44	36	39	64	13,62	0,032763533
80	76,9	28	41	36	40	64	13,20	0,040312094
35	33	30	41	36	40	59	12,75	0,060606061
6	6	31	46	36	38	55	13,95	0
7,5	7,2	31	46	36	41	55	14,17	0,041666667
10	9,5	26	52	36	41	65	19,47	0,052631579
5	5	26	52	36	38	53	13,38	0
71	69,7	26	52	36	41	51	12,70	0,018651363
5	4,8	34	41	36	41	58	14,47	0,041666667
100	98,6	33	43	36	39	62	13,20	0,014198783
116,4	115	36	45	36	38	51	14,85	0,012173913
26,5	26,4	36	51	36	38	53	13,63	0,003787879
42	41,5	36	51	36	41	57	17,82	0,012048193
74	74	34	46	36	39	53	15,72	0
74	72,5	33	45	36	38	63	19,62	0,020689655

Tablo A. (Devamı) Kullanılan Veri Seti

DÖKÜLEN M ²	SÖKÜLEN M ²	HAVA SICAKLIĞI °C	NEM %	HARÇ SICAKLIĞI °C	FIRIN SICAKLIĞI °C	FIRIN NEMİ %	FIRINDA KALMA SÜRESİ SAAT	AĞIRLIKLİ ORTALAMA
7	7	29	45	36	40	63	17,02	0
46	44	30	46	36	40	55	16,82	0,045454545
49	47	29	50	36	38	57	18,98	0,042553191
49,2	43,5	31	41	36	40	61	16,93	0,131034483
10	9,6	31	41	36	42	64	12,90	0,041666667
33,6	33,6	31	41	36	41	61	17,25	0
19	18	31	41	36	38	56	17,98	0,055555556
21	20,8	29	43	36,5	39	53	19,48	0,009615385
27,4	27	29	43	36,5	42	59	12,70	0,014814815
62	55	33	45	36	40	65	12,97	0,127272727
61	58	32	45	36	41	62	16,78	0,051724138

Ek B.Yazılım Programı

```
python
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.modelselection import traintestsplit
from sklearn.linearmodel import LinearRegression
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')
file_path = '/content/sample_data/Tez Verileri_R3.xlsx' # Excel dosya yolunu
güncelleyin
xl = pd.ExcelFile(file_path)
print(f'Excel dosyasındaki sayfa isimleri: {xl.sheet_names}')

Excel dosyasındaki sayfa isimleri: ['Arcadia', 'Atlas', 'Blumone', 'Botticino', 'Cascata',
'Laguna', 'Masso', 'Runner', 'Toce', 'Tudor']
sheet_name = 'Masso' # Buraya doğru sayfa ismini yazın (örneğin, 'Veri')

data = pd.readexcel(filepath, sheet_name="Masso",)
targetcolumn = 'AĞIRLIKLİ ORTALAMA' # Output sütun ismini güncelleyin
X = data.drop(columns=[targetcolumn])
y = data[target_column]

#Veriyi kontrol et
print(f'X shape: {X.shape}')
print(f'y shape: {y.shape}')

X shape: (73, 9)
y shape: (73,)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=0.2, random_state=42)

scaler = StandardScaler()
Xtrain_scaled = scaler.fit_transform(Xtrain)
Xtest_scaled = scaler.transform(X_test) # Use the same scaler fitted on train data

Convert scaled arrays back to DataFrames for easier handling, keeping column
names

Xtrain_scaled_df = pd.DataFrame(Xtrain_scaled, columns=X.columns,
index=Xtrain.index)
Xtest_scaled_df = pd.DataFrame(Xtest_scaled, columns=X.columns, index=Xtest.index)

#Gerekli olabilecek ek kütüphaneler
import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.linearmodel import LinearRegression
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor, GradientBoostingRegressor
from sklearn.metrics import r2score
import matplotlib.pyplot as plt
```



```

import seaborn as sns
import warnings

warnings.filterwarnings('ignore')

NOISE_LEVEL = 0.05 # Gauss gürültü seviyesi

#Aşağıdaki değişkenlerin önceki hücrelerinizden tanımlanmış olması gerekiyor. Aksi
halde program çalışmaz.

Xtrainscaled_df: Ölçeklendirilmiş eğitim özellikleri (DataFrame)
y_train: Eğitim hedef değişkeni (Series)
Xtestscaled_df: Ölçeklendirilmiş test özellikleri (DataFrame)
y_test: Test hedef değişkeni (Series)

#Veri Artırma (Data Augmentation) Fonksiyonları. Farklı fonksiyonlar eklenebilir.

def augmentgaussiannoise(Xdf, yseries, percentage, noiselevel, basestddev):
#Eğitim verisinin belirtilen yüzdesine Gauss gürültüsü ekler.
#Gürültü, orijinal ölçeklendirilmiş eğitim verisinin std sapmasına göre ayarlanır.
    nsamplestoaugment = int(len(Xdf) * percentage)
    if nsamplestoaugment == 0:
        return pd.DataFrame(columns=Xdf.columns), pd.Series(dtype=yseries.dtype)

# Artırılacak rastgele indeksleri seç
augment_indices = np.random.choice(X_df.index, size=n_samples_to_augment,
replace=True)
X_to_augment = X_df.loc[augment_indices]
y_to_augment = y_series.loc[augment_indices] # İlgili y değerlerini koru
# Özelliklerin standart sapmalarını al (önceden hesaplanmış olmalı)
noise = np.random.normal(0, noise_level * base_std_dev.values,
size=X_to_augment.shape)
X_augmented = X_to_augment + noise
# Orijinal sütun isimlerini ve indeksleri koru (indeksler karışık olabilir, önemli değil)
X_augmented = pd.DataFrame(X_augmented, columns=X_df.columns,
index=y_to_augment.index)
return X_augmented, y_to_augment

def augmentbootstrap(Xdf, yseries, percentage):
#Bootstrapping (yerine koyarak örnekleme) ile yeni örnekler oluşturur.
    nsamplestoaugment = int(len(Xdf) * percentage)
    if nsamplestoaugment == 0:
        return pd.DataFrame(columns=Xdf.columns), pd.Series(dtype=yseries.dtype)

# Yerine koyarak indeks örnekle
augment_indices = np.random.choice(X_df.index, size=n_samples_to_augment,
replace=True)
X_augmented = X_df.loc[augment_indices]
y_augmented = y_series.loc[augment_indices]
return X_augmented, y_augmented

#Regresyon Modellerinin Tanımlanması
models = {
    "Linear Regression": LinearRegression(),

```

```

# nestimators gibi parametreleri ayarlayabilirsiniz
"Random Forest": RandomForestRegressor(randomstate=RANDOMSTATE,
nestimators=100),
"Gradient Boosting":
GradientBoostingRegressor(randomstate=RANDOMSTATE)
# Buraya Support Vector Regression (SVR), XGBoost gibi başka modeller
ekleyebilirsiniz
# from sklearn.svm import SVR
# "SVR": SVR()
}

results = []

--- Baseline (Artırma Olmadan) ---

print("\n--- Baseline Modeller Değerlendiriliyor (Artırma Yok) ---")

#Gürültü ekleme için temel standart sapmanın hesaplanması(orijinal ölçekli eğitim
verisi üzerinden)

basefeaturestd = Xtrainscaled_df.std(axis=0)

for name, model in models.items():
    try:
        # Orijinal ölçeklendirilmiş eğitim verisi üzerinde eğit
        model.fit(Xtrainscaled_df, ytrain)
        # Orijinal ölçeklendirilmiş test verisi üzerinde tahmin yap
        ypred = model.predict(Xtestscaled_df)
        # R2 skorunu hesapla
        r2 = r2score(ytest, ypred)
        results.append({
            "Model": name,
            "Augmentation": "None",
            "Percentage": 0,
            "TrainSize": len(Xtrainscaled_df),
            "R2Score": r2
        })
        print(f'Model: {name}, R2 Skoru: {r2:.4f}')
    except Exception as e:
        print(f'Model: {name}, Baseline hesaplamada Hata: {e}')

#Artırma Döngüsü

print("\n--- Veri Artırma ile Modeller Değerlendiriliyor ---")

augmentationmethods = {
    "Gaussian Noise": augmentgaussiannoise,
    "Bootstrap": augmentbootstrap
}

for augname, augfunc in augmentationmethods.items():
    print(f'\n--- Artırma Yöntemi: {augname} ---')
    for percentage in AUGMENTATION_PERCENTAGES:
        print(f' --- Artırma Yüzdesi: {percentage*100:.0f}% ---')

```

```

# Artırılmış veriyi oluşturma
# Not: Fonksiyonlara ölçeklenmiş eğitim verisini ve y_train'i veriyoruz
if aug_name == "Gaussian Noise":
    # base_feature_std'yi fonksiyona iletiyoruz
    X_augmented, y_augmented = aug_func(X_train_scaled_df, y_train,
percentage, NOISE_LEVEL, base_feature_std)
else: # Bootstrap
    X_augmented, y_augmented = aug_func(X_train_scaled_df, y_train,
percentage)
if X_augmented.empty:
    print("   Atlıyor: Artırılmış veri oluşturulmadı.")
    continue
# Orijinal eğitim verisi ile artırılmış veriyi birleştirme
# ignore_index=True yeni bir sıralı indeks oluşturur
X_train_augmented = pd.concat([X_train_scaled_df, X_augmented],
ignore_index=True)
y_train_augmented = pd.concat([y_train, y_augmented], ignore_index=True)
new_train_size = len(X_train_augmented)
print(f"   Orijinal eğitim boyutu: {len(X_train_scaled_df)}, Artırılmış eğitim
boyutu: {new_train_size}")
# Modelleri artırılmış veri üzerinde eğit ve değerlendirme
for model_name, model in models.items():
    try:
        # Birleştirilmiş (orijinal + artırılmış) ÖLÇEKLENMİŞ eğitim verisi üzerinde
eğitme
        model.fit(X_train_augmented, y_train_augmented)
        # Orijinal, ellenmemiş, ÖLÇEKLENMİŞ test verisi üzerinde tahmin
        y_pred = model.predict(X_test_scaled_df)
        # R2 skorunu hesaplama
        r2 = r2_score(y_test, y_pred)
        results.append({
            "Model": model_name,
            "Augmentation": aug_name,
            "Percentage": percentage,
            "Train_Size": new_train_size,
            "R2_Score": r2
        })
        print(f"   Model: {model_name}, R2 Skoru: {r2:.4f}")
    except Exception as e:
        print(f"   Model: {model_name}, Hata (Eğitim/Tahmin): {e}")

#Sonuçlar
print("\n--- Sonuçların Özeti ---")
results_df = pd.DataFrame(results)

#Tüm satırları görmek için to_string() kullanılabilir
print(resultsdf.tostring())

#Grafik oluşturma
print("\n--- Sonuçlar Görselleştiriliyor ---")
plt.style.use('seaborn-v0_8-whitegrid') # Grafik stili

```

```

#Grafik için pivot tabloları oluşturma
pivotnoise = resultsdf[resultsdf['Augmentation'] == 'Gaussian
Noise'].pivot(index='Percentage', columns='Model', values='R2Score')
pivotbootstrap = resultsdf[resultsdf['Augmentation'] ==
'Bootstrap'].pivot(index='Percentage', columns='Model', values='R2Score')

baseliner2 = resultsdf[resultsdf['Augmentation'] ==
'None'].setindex('Model')['R2_Score']

#Gauss ve Bootstrap için iki alt tablo oluşturma.
fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize=(18, 6), sharey=True) # Boyutu
ayarlayabilirsiniz
fig.suptitle('Veri Artırmanın R2 Skoruna Etkisi (Test Seti)', fontsize=16)

#Gaussian Noise sonuçları
if not pivotnoise.empty:
    ax = axes[0]
    pivotnoise.plot(ax=ax, marker='o')
    # Baseline çizgilerini ekleme
    for model in pivotnoise.columns:
        if model in baseliner2.index:
            # Renkleri eşleştirmek için çizgilerin sırasını kullan
            linecolor = ax.getlines()[list(pivotnoise.columns).index(model)].getcolor()
            ax.axhline(baseliner2[model], linestyle='--', color=linecolor, alpha=0.7,
label=f'{model} Baseline' if ax.getlegend() is None else "nolegend") # Tekrarlı
legend girişini engelle
            ax.settitle('Gauss Gürültüsü ile Artırma')
            ax.setxlabel('Artırma Yüzdesi (Orijinal Eğitim Verisine Göre)')
            ax.setylabel('R2 Skoru')
            ax.legend(title='Model')
            ax.grid(True) # Izgara ekle

#Bootstrap sonuçları
if not pivotbootstrap.empty:
    ax = axes[1]
    pivotbootstrap.plot(ax=ax, marker='o')
    # Baseline çizgilerini ekle
    for model in pivotbootstrap.columns:
        if model in baseliner2.index:
            linecolor =
ax.getlines()[list(pivotbootstrap.columns).index(model)].getcolor()
            ax.axhline(baseliner2[model], linestyle='--', color=linecolor, alpha=0.7,
label=f'{model} Baseline' if ax.getlegend() is None else "nolegend")
            ax.settitle('Bootstrap ile Artırma')
            ax.setxlabel('Artırma Yüzdesi (Orijinal Eğitim Verisine Göre)')
            # ax.setylabel('R2 Skoru') # Sol grafik ile Y eksenini paylaşıyor (sharey=True)
            ax.legend(title='Model')
            ax.grid(True)

plt.tight_layout(rect=[0, 0.03, 1, 0.95]) # Başlığın üst üste binmesini engelle
plt.show() # Grafiği JupyterLab'de göster

```

```

#En İyi Model İçin Özellik Önem Sıralaması
#Sonuçlar DataFrame'inden en yüksek R2'ye sahip satırı bulunmalıdır.
bestresultrow = resultsdf.loc[resultsdf['R2Score'].idxmax()]
print(f'\nEn İyi Sonuç:\n{bestresult_row}')

#En iyi model ağaç tabanlı ise (Random Forest veya Gradient Boosting) özellik önemini göster

if bestresultrow['Model'] in ['Random Forest', 'Gradient Boosting']:
    print(f'\nEn İyi Modelin Özellik Önem Sıralaması ({bestresultrow['Model']} - {bestresultrow['Augmentation']} @ {bestresultrow['Percentage']*100}%)')

# En iyi modeli yeniden eğitmek için doğru eğitim verisini oluşturma
best_model_instance = models[best_result_row['Model']]
aug_name = best_result_row['Augmentation']
percentage = best_result_row['Percentage']
X_train_final_for_importance = None
y_train_final_for_importance = None
if aug_name == "None":
    X_train_final_for_importance = X_train_scaled_df
    y_train_final_for_importance = y_train
else:
    aug_func = augmentation_methods[aug_name]
    if aug_name == "Gaussian Noise":
        X_augmented_best, y_augmented_best = aug_func(X_train_scaled_df, y_train,
percentage, NOISE_LEVEL, base_feature_std)
    else: # Bootstrap
        X_augmented_best, y_augmented_best = aug_func(X_train_scaled_df, y_train,
percentage)
    X_train_final_for_importance = pd.concat([X_train_scaled_df,
X_augmented_best], ignore_index=True)
    y_train_final_for_importance = pd.concat([y_train, y_augmented_best],
ignore_index=True)

# Modeli en iyi konfigürasyondaki veri ile eğit
best_model_instance.fit(X_train_final_for_importance,
y_train_final_for_importance)
# Özellik önemlerini al ve DataFrame'e dönüştür
importances = best_model_instance.feature_importances_
# Orijinal X'in sütun isimlerini kullan (ölçeklemeden önceki)
feature_names = X_train_scaled_df.columns # veya X.columns eğer sakladıysanız
feature_importance_df = pd.DataFrame({'Feature': feature_names, 'Importance':
importances})
feature_importance_df = feature_importance_df.sort_values(by='Importance',
ascending=False)
print(feature_importance_df)
# Özellik önemlerini görselleştir
plt.figure(figsize=(10, max(6, len(feature_names)*0.3))) # Figür boyutunu özellik
sayısına göre ayarla
sns.barplot(x='Importance', y='Feature', data=feature_importance_df,
palette='viridis')

```

```
plt.title(f'Özellik Önem Sıralaması - {best_result_row["Model"]}')
plt.tight_layout()
plt.savefig("/content/sample_data/Tez.png")#grafik otomatik kaydetme
plt.show()
NameError                                Traceback (most recent call last)
```

```
<ipython-input-9-bea4cb2caca1> in <cell line: 0>()
    67  "Linear Regression": LinearRegression(),
    68  # n_estimators gibi parametreleri ayarlayabilirsiniz
---> 69  "Random Forest":
RandomForestRegressor(random_state=RANDOM_STATE, n_estimators=100),
    70  "Gradient Boosting":
GradientBoostingRegressor(random_state=RANDOM_STATE)
    71  # Buraya Support Vector Regression (SVR), XGBoost gibi başka modeller
ekleyebilirsiniz
NameError: name 'RANDOM_STATE' is not defined
models = {
    "Linear Regression": LinearRegression(),
    # n_estimators gibi parametreleri ayarlayabilirsiniz
    "Random Forest": RandomForestRegressor(random_state=RANDOM_STATE,
n_estimators=100),
    "Gradient Boosting":
GradientBoostingRegressor(random_state=RANDOM_STATE)
    # Buraya Support Vector Regression (SVR), XGBoost gibi başka modeller
ekleyebilirsiniz
    # from sklearn.svm import SVR
    # "SVR": SVR()
}
model=LinearRegression()
model.fit(Xtrainscaled, y_train)
#Orijinal, ellenmemiş test verisi üzerinde tahmin yapma
ypred = model.predict(Xtestscaleddf)
r2 = r2score(ytest, y_pred)
print(r2)

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from scipy.stats import percentileofscore

def performparetoanalysis(data, responsecolumn, factorcolumns):
    #Verilen veri setinde Pareto analizi yapar ve faktörlerin etki derecelerini
değerlendirir.

Args:
    data (pd.DataFrame): Analiz edilecek veri seti.
    response_column (str): Analiz edilecek yanıt (response) sütununun adı.
    factor_columns (list): Analiz edilecek faktör (input) sütunlarının isimlerinin listesi.

Returns:
```

```

None: Grafik çizer ve etki yüzdelerini yazdırır.
if response_column not in data.columns:
    print(f'Hata: Yanıt sütunu '{response_column}' veri setinde bulunamadı.")
    return
for col in factor_columns:
    if col not in data.columns:
        print(f'Uyarı: Faktör sütunu '{col}' veri setinde bulunamadı ve analize dahil
        edilmedi.")
        factor_columns = [col for col in factor_columns if col in data.columns] # Geçerli
        olanları filtrele
if not factor_columns:
    print("Analiz edilecek geçerli faktör sütunu bulunamadı.")
    return
print(f'\n--- Pareto Analizi: Yanıt Faktörü '{response_column}' ---')
# Faktörlerin ve etkileşimlerinin etkisini hesaplama
# Göreceli etkiyi gösterir.
effects = {}
# Ana etkiler
for factor in factor_columns:
    if data[factor].nunique() > 1: # Faktörün birden fazla seviyesi olmalı
        group_means = data.groupby(factor)[response_column].mean()
        # Etkiyi grup ortalamalarının standart sapması veya aralığı olarak alabiliriz.
        # Burada ortalamaların aralığını kullanılır..
        effects[factor] = group_means.max() - group_means.min() if
        group_means.nunique() > 1 else 0
        print(f' Ana Etki ({factor}): {effects[factor]:.4f}")
    else:
        effects[factor] = 0
        print(f' Ana Etki ({factor}): Tek seviyeli faktör, etki 0 kabul edildi.")
# İki Yönlü Etkileşimler (Sadece sayısal faktörler için veya uygun kategorik
etkileşim hesaplaması ile)
# Basitlik için burada sadece iki kategorik/sayısal faktörün etkileşimini hesaplıyoruz.
# Daha gelişmiş etkileşim analizleri (örneğin ANOVA ile) daha karmaşık olacaktır.
for i in range(len(factor_columns)):
    for j in range(i + 1, len(factor_columns)):
        factor1 = factor_columns[i]
        factor2 = factor_columns[j]
        try:
            # Gruplara göre ortalamaları hesaplama
            interaction_means = data.groupby([factor1,
            factor2])[response_column].mean().unstack()

            # Etkileşim etkisini, satır ve sütun ortalamalarından sapmaların ölçüsü olarak
            alınabilir.
            # Burada basitçe etkileşim ortalamalarının standart sapmasını kullanıyoruz.
            # Dikkat: Bu basit yaklaşım, ANOVA'daki etkileşim etkisinin istatistiksel
            tanımından farklıdır.
            interaction_effect = interaction_means.values.std() if not
            interaction_means.empty else 0
            interaction_label = f'{factor1}*{factor2}"

```

```

        effects[interaction_label] = interaction_effect
        print(f' Etkileşim Etkisi ({interaction_label}):
{effects[interaction_label]:.4f}')
    except Exception as e:
        print(f' Etkileşim Etkisi ({factor1}*{factor2}) hesaplanamadı: {e}')
        effects[f'{factor1}*{factor2}'] = 0
# Etkileri azalan sırada sıralama
sorted_effects = dict(sorted(effects.items(), key=lambda item: item[1],
reverse=True))
# Toplam etkiyi hesaplama (Sadece pozitif etkiler dikkate alınarak)
total_effect = sum(abs(effect) for effect in sorted_effects.values())
if total_effect == 0:
    print("\nToplam etki 0 olduğu için Pareto grafiği çizilemedi.")
    print("Muhtemel nedenler: Tüm faktörlerin tek seviyeli olması veya tüm response
değerlerinin aynı olması.")
    return
# Etkilerin yüzde ve kümülatif yüzdesini hesaplama
impact_df = pd.DataFrame(list(sorted_effects.items()), columns=['Factor', 'Effect'])
impact_df['Absolute_Effect'] = impact_df['Effect'].abs() # Mutlak değerleri kullan
# Sadece 0'dan büyük mutlak etkilere sahip olanları dikkate al
impact_df = impact_df[impact_df['Absolute_Effect'] > 0].copy()
if impact_df.empty:
    print("\nHiçbir faktör/etkileşim 0'dan büyük etki göstermedi.")
    return
impact_df['Percentage'] = (impact_df['Absolute_Effect'] /
impact_df['Absolute_Effect'].sum()) * 100
impact_df['Cumulative_Percentage'] = impact_df['Percentage'].cumsum()
print("\nEtki Dereceleri (Mutlak Değere Göre Azalan Sıralama):")
print(impact_df[['Factor', 'Absolute_Effect', 'Percentage',
'Cumulative_Percentage']].to_string(index=False, float_format='%.2f'))
# Pareto Grafiği Çizimi
plt.style.use('seaborn-v0_8-whitegrid')
fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(12, 7))
# Etki çubukları
sns.barplot(x='Factor', y='Absolute_Effect', data=impact_df, ax=ax1,
color='skyblue')
ax1.set_xlabel("Faktör veya Etkileşim")
ax1.set_ylabel(f"{response_column} Üzerindeki Mutlak Etki", color='skyblue')
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor='skyblue')
ax1.set_xticklabels(impact_df['Factor'], rotation=45, ha='right') # Etiketleri döndür
# Kümülatif yüzde çizgisi
ax2 = ax1.twinx()
ax2.plot(impact_df['Factor'], impact_df['Cumulative_Percentage'], color='red',
marker='o', linestyle='-')
ax2.set_ylabel("Kümülatif Yüzde", color='red')
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor='red')
ax2.set_ylim(0, 105) # Y eksenini 0-105 arasına ayarla
# Kümülatif yüzde değerlerini çizgi üzerine yaz
for i, cumulative_percent in enumerate(impact_df['Cumulative_Percentage']):
    ax2.text(i, cumulative_percent + 2, f'{cumulative_percent:.1f}%', ha='center',

```



```
va='bottom', color='red', fontsize=9)
# 80% çizgisini ekle (Pareto prensibi için)
ax2.axhline(80, color='gray', linestyle='--', linewidth=0.8)
ax2.text(len(impact_df)-1, 80, '80%', va='center', ha='left', backgroundcolor='white')
plt.title(f'Pareto Analizi: {response_column} Üzerindeki Faktör ve Etkileşim Etkileri')
plt.tight_layout() # Grafiğin düzgün görünmesini sağlar
plt.show()
```



Ek C. İzin Belgesi

TUTANAKTIR

16.06.2025.
Sakarya /Akyazı

, Alptekin KAVAKOĞLU,

isimli geçmiş dâim çalışan personelimize Sakarya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Tıbbat Mühendisliği ara bilim alanında
tez yazımı için Annamizda tutulan "1. Kırım" veri setini ve
geçmiş fotoğrafları kullanması uygundur.

STONEWRAP KÜLTÜR TAŞI SANAYİ A.Ş.
Küçükçekirten Mah. Kınalırmaz Çiftliği No : 51/1
Akyazı / SAKARYA
Akyazı V.D. : 435 000 000 000 000 000 No : 3209
Mersis No : 435 000 000 000 000 000
www.stonewrap.com info@stonewrap.com

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Alptekin KAVAKOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2020-2024 yılları arasında Dekoral Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'de Üretim Sorumlusu olarak çalıştı.
- 2024 yılında Stonewrap Kültür Taşı Sanayi A.Ş.'de Üretim Sorumlusu olarak çalıştı.
- 2025 yılında Toy Plastik Elk. Mlz. Tic. Paz. San. Ltd. Şti'de Proje İmalat Sorumlu Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen devam ediyor.