

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KEÇE CAM ELYAF KARAKTERİSTİKLERİYLE ÇEKME  
MUKAVEMETİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK  
OPTİMİZASYONU**

**DİDEM KÖK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Prof. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN (Danışman)  
Doç. Dr. Şener AKPINAR  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**



## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Keçe Cam Elyaf Karakteristikleriyle Çekme Mukavemetinin Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Optimizasyonu**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Didem KÖK**

## ÖZET

### KEÇE CAM ELYAF KARAKTERİSTİKLERİYLE ÇEKME MUKAVEMETİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİDEM KÖK

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, HAZİRAN-2024

Otomotiv endüstrisi başta olmak üzere birçok sektörde kullanılan keçe cam elyafı ürününde, çekme mukavemeti önemli bir performans kriteridir. Çekme mukavemeti karakteristiğinin hesaplanabilir olması, değişken son kullanıcı ihtiyaçlarını sağlayabilmek için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu karakteristik, malzemeye uygulanan çekme kuvveti ile malzemenin ayrıştığı andaki kuvveti ifade eder. Bu tez çalışmasında, toz keçe cam elyafının üretim süreci ele alınmış ve çekme mukavemet çıktısının optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Keçe cam elyaf üretiminde çekme mukavemeti üzerinde etkili farklı birçok parametre bulunmaktadır. Bu çalışmada ise faktör olarak; birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı değerleri incelenmiştir. Deney tasarımı, modelleme, analiz ve optimizasyon aşamalarında Minitab istatistiksel analiz programından yararlanılmıştır. Yöntem olarak da iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan yanıt yüzey yönteminden yararlanılmıştır. Faktörlerden birim alan ağırlığı, 300-400 g/m<sup>2</sup> aralığında; kızdırma kaybı, %4-6 aralığında çalışılmış ve çekme mukavemeti yanıtı maksimize edilmiştir. Çalışma sonucunda; yanıtı maksimize eden faktör değerleri olarak her iki faktör için de üst sınırlar olduğu görülmüştür. Literatürdeki elyaf içerikli çekme mukavemeti optimizasyon çalışmalarında, elyaf katkılı kompozit malzemeler üzerine yoğunlaşıldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise kompozite dönüştürülmeden doğrudan keçe cam elyaf ürününün çekme mukavemeti değeri, yanıt olarak çalışılmıştır. Aynı zamanda literatürde, bu çalışmada yer alan girdi ve çıktı kombinasyonunu içeren bir araştırmaya rastlanmamıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Çekme mukavemeti, keçe cam elyaf, yanıt yüzey yöntemi, optimizasyon

Bilim Kod / Kodları: 90610

Sayfa Sayısı: 53

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF TENSILE STRENGTH VIA MAT GLASS FIBER CHARACTERISTICS BY USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

**MSC THESIS**

**DİDEM KÖK**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
INDUSTRIAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN )**

**BALIKESİR, JUNE - 2024**

Tensile strength is a very important performance characteristic of mat glass fiber which is used in many sectors especially for automotive industry. It is also important to be able to calculate the mathematical model to support the varying needs of the end users which may change according to their processes. Tensile strength is the value where the breakaway status occurs while increasing force is applied to MAT samples. There are some factors which effect the tensile strength of mat glass fiber. In this essay, production of mat glass fiber and optimization of tensile strength are covered. There are many factors which affect tensile strength of mat glass fiber. Mass per unit and loss on ignition were used as factors. In this study, Minitab was used as a statistical analysis programme for design of experiment, modelling, analyzing and optimization. Response surface methodology is used as a method to achieve the optimum tensile strength value of mat glass fiber. The aimed mathematical modelling which maximizes the response was achieved at the end of the study. The factor levels which support the varying needs of end users become possible to be calculated. Mass per unit and loss on ignition values were studied as 300-400 g/m<sup>2</sup> and 4-6% respectively. As a result, it is indicated that higher mass per unit and loss on ignition provide higher tensile strength for mat glass fiber. In literature, tensile strength has been studied for composites instead of glass fiber which is studied in this essay. Also, this study is distinguished from the other essays in literature via the combination of the response and the factors used.

**KEYWORDS:** Tensile strength, mat glass fiber, response surface methodology, optimization

Science Code / Codes: 90610

Page Number: 53

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DENEY TASARIMI</b> .....	<b>12</b>
3.1 Kavram ve İlkeler .....	12
3.2 Uygulama Aşamaları .....	13
3.3 Yaygın Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri .....	14
3.3.1 Yanıt Yüzey Yöntemi .....	14
3.3.2 Faktöriyel Tasarım .....	17
3.3.3 Taguchi Metodu .....	19
3.4 Deney Tasarımı Yöntemlerinin Kıyaslanması .....	21
<b>4. KEÇE CAM ELYAF VE KOMPOZİTLER</b> .....	<b>24</b>
4.1.1 Keçe Cam Elyaf .....	24
4.1.2 Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler .....	26
<b>5. UYGULAMA</b> .....	<b>28</b>
5.1 Üretim Sisteminin ve Problemin Tanımlanması .....	28
5.2 Deney Tasarımında Kullanılan Faktör ve Yanıt Değişkenleri .....	29
5.3 Tasarım ve Sonuçlar .....	30
5.4 Analiz ve Optimizasyon .....	36
5.5 Doğrulama Deneyleri ile Sonuç Değerlendirmesi .....	44
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>46</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>53</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Bir sistem veya sürecin genel modeli .....	12
Şekil 3.2: Deney tasarımı uygulama süreci.....	13
Şekil 3.3: İki faktörlü faktöriyel tasarım .....	17
Şekil 3.4: Taguchi metodu uygulama adımları .....	21
Şekil 4.1: Keçe cam elyafa ilişkin görsel .....	25
Şekil 4.2: El yatırması yöntemi ile keçe kullanımı .....	25
Şekil 5.1: Hazırlanan numunelere ilişkin görsel .....	32
Şekil 5.2: Çekme mukavemeti testine ilişkin görsel .....	33
Şekil 5.3: Yakma öncesi tartım (ilk tartım).....	33
Şekil 5.4: Kızdırma kaybı testi hazırlık görseli.....	34
Şekil 5.5: Kızdırma kaybı testi için kullanılan etüv fırını görseli .....	35
Şekil 5.6: Yakma işlemi sonrası tartım (son tartım) .....	35
Şekil 5.7: Artık grafiği .....	37
Şekil 5.8: Etkileşim grafiği .....	40
Şekil 5.9: Kontur grafiği .....	41
Şekil 5.10: Yüzey grafiği .....	42
Şekil 5.11: Optimizasyon grafiği .....	43
Şekil 5.12: Optimizasyona ilişkin Minitab raporu .....	44

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Özet Literatür Listesi.....	9
<b>Tablo 3.1:</b> Yaygın modellerin deney sayıları .....	16
<b>Tablo 3.2:</b> 2 faktöre göre yates sıralaması .....	18
<b>Tablo 3.3:</b> 2 faktörlü tasarımda kombinasyonların toplam etkileri .....	18
<b>Tablo 3.4:</b> 3 faktöre göre yates sıralaması .....	18
<b>Tablo 3.5:</b> 3 faktörlü tasarımında kombinasyonların toplam etkileri .....	19
<b>Tablo 3.6:</b> L9 ortogonal dizi .....	20
<b>Tablo 5.1:</b> Deney tasarım girdileri ve seviyeleri .....	31
<b>Tablo 5.2:</b> Deney sonuçları.....	36
<b>Tablo 5.3:</b> ANOVA tablosu.....	38
<b>Tablo 5.4:</b> Düzenlenmiş ANOVA tablosu.....	39
<b>Tablo 5.5:</b> Doğrulama deney sonuçları ve modelleme karşılaştırması.....	45



## SEMBOL LİSTESİ

- $\beta_j$  : Regresyon katsayısı  
 $\beta_{ij}$  : Regresyon katsayısı  
 $m_i$  : Ağırlık  
 $a$  : Merkez noktadan uzaklık  
 $\mathcal{E}$  : Hata terimi  
 $x_j$  : Süreç değişkeni  
 $N$  : Çekme mukavemeti birimi (Newton)  
 $g/m^2$  : Birim alan ağırlığı birimi (gram/metrekare)  
% : Kızdırma kaybı birimi (yüzde)



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>ANOVA</b>	: Varyans analizi (analysis of variance)
<b>CTP</b>	: Cam takviyeli plastik
<b>YYY</b>	: Yanıt yüzey yöntemi
<b>B2B</b>	: Firmadan firmaya satış stratejisi (business to business)
<b>MAT</b>	: Toz bağlayıcılı keçe
<b>DMD</b>	: İstatistiksel analiz türü (D-optimal design)
<b>ANOM</b>	: Ortalama analizi (analysis of means)
<b>S/N</b>	: Gürültü katsayısı (signal to noise)
<b>CCD</b>	: Merkezi birleşik tasarım (central composite design)
<b>GFRP</b>	: Cam elyaf takviyeli polimer (Glass fibre reinforced polymer)
<b>CFRP</b>	: Karbon elyaf takviyeli polimer (Carbon fiber reinforced polymer)

## ÖNSÖZ

Bu tez, cam elyaf üretimi yapan bir fabrikada yapılmıştır. Tez kapsamında; yarı mamul olarak kullanılan keçe cam elyafın son kullanıcıda önem arz eden çekme mukavemeti karakteristiği ele alınmıştır. Değişen son kullanıcı ihtiyaçlarına hızlı karşılık verebilmek için çekme mukavemetinin matematiksel modellenmesi, analizi ve optimizasyonu çalışılmıştır. Yapılan deneyler esnasında karşılaşılan masraflar, çalışılan üretici tarafından karşılanmıştır. Tez yazımım esnasında yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda gerekli olan deneyleri gerçekleştirmemde ve cam elyaf hakkında bilgilerimi benden esirgemeyen yöneticilerime ve cam elyaf çalışanlarına tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

Son olarak, yoğun iş temposunda tezimi tamamlamam için bana inanan ve güç veren sevdiklerime, bu çalışmalarım esnasında bana anlayış gösteren ve beni ödev arkadaşı yapan canım oğlum Sarp Yiğit'e kalbimden teşekkür ederim.

**Bahkesir, 2024**

**Didem KÖK**

# 1. GİRİŞ

## Çalışmanın Anlamı

Piyasalarda fiyatta rekabet avantajı sağlayabilmek için maliyetlerin optimum seviyede azaltılması bir ihtiyaçtır. Üreticilerin ürettikleri ürüne uygun hammaddeyi bulması için, prosesin ihtiyaç duyduğu gereklilikleri doğru tanımlamış olması gerekmektedir. Hammadde olarak kullanılan malzemelerin üretime uygun seçilmesi; üretimde verimliliğin artışı, doğru kalitede ürün oranının artışı ve atık oranının azaltılması gibi nedenlerle en önemli etkenlerden biridir. Hammaddeden gelecek hataların, bu 3 anahtar performans indikatörüne etkisi kaçınılmazdır.

Bu nedenle; üretici istekleri ve tedarikçinin sağladığı şartlar karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırma sonucunda; hammaddeden beklentiler, şartnameler aracılığıyla güvence altına alınmalıdır.

Elyaf, kompozit malzeme üretiminde kullanılan bir yarı mamuldür. Son ürün üreticilerinin proses kabiliyeti ya da son ürünün ihtiyaç duyduğu özellikler, üreticiler arasında farklılık gösterir. Bu nedenle, elyaf üretiminde son üreticiye doğru özelliklerde hammadde üretilmesi önem arz etmektedir. Önemli karakteristikler ve spesifikasyonları şartnamede yer almaktadır. Şartname sonrasında; hammadde üretimi yapan üreticinin, belirlenen spesifikasyonlara uygun üretim kabiliyetlerinin ölçümlendirilmesi, özellikle otomotiv sektörlerinde ihtiyaçtır.

Cam elyafın kırılması ile oluşturulan keçe cam elyafın otomotiv sektörü başta olmak üzere kullanım alanı yaygındır. Önde gelen kullanım alanları; araç içi parçalar, otomobil tavanları, denizcilik sektörü, şeffaf levha üretimleridir. Son üreticide kullanılan keçe cam elyafın üretim prosesindeki gerekliliklerinden biri de çekme mukavemeti karakteristiğidir. Keçe cam elyafın üzerine uygulanan reçinelerin hem türü ve miktarına hem de taşıma prosesinin şekline bağlı olarak kullanılacak keçe cam elyafında farklı çekme mukavemeti değerlerine ihtiyaç doğabilmektedir. İhtiyacı karşılamayan keçe cam elyaf kullanımlarında, son üründe kopma ve ıskartaya ayırma söz konusu olmakta ve maliyet artışına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında; keçe cam elyafın çekme mukavemeti yanıtına etki eden faktörler incelenerek son üreticide maliyeti düşürecek uygun çekme mukavemeti değerinin hesaplanabilmesi için optimizasyon çalışması yapılacaktır.

### **Çalışmanın Amaçları**

Keçe cam elyafın çekme mukavemeti yanıtına etki eden faktörler incelenmiştir. Yanıt ile arasında ilişki bulunan faktörler değerlendirilerek aralarından birim alan ağırlığı (g) ve kızdırma kaybı (%) faktörleri seçilmiştir. Birim alan ağırlığı, 1 m<sup>2</sup> alandaki ürün ağırlığı olarak tanımlanır. Kızdırma kaybı değeri ise, keçe cam elyafın üzerindeki bağlayıcı yüzdesini ifade eder.

Bu çalışmada, keçe cam elyafın çekme mukavemeti karakteristiği üzerinde belirlenen 2 faktörün etkisi incelenecektir. Çalışma sonunda, bu iki faktörü içeren ve yanıtı çekme mukavemeti olan matematiksel modele ulaşılması amaçlanmaktadır. Bu şekilde, değişken müşteri ihtiyaçlarına karşılık hızlı yanıt verebilme avantajı sağlanacaktır. Bu avantajla, elyaf kullanan üreticilerin proses ihtiyaçları doğrultusunda doğru ürüne ulaşılması sayesinde maliyet düşüşü, hurda miktarında azalma ve verimde artışa imkân sağlanması hedeflenmiştir.

### **Çalışmadaki Kısıtlar ve Varsayımlar**

Keçe cam elyaf ürün karakteristiklerine etki eden birçok proses faktörü bulunmaktadır. Belirlenen 2 faktöre etki eden üretim parametreleri dışında kalanlar sabitlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Üretim parametrelerinde; deney çalışmasına etki etmeyecek düzeyde değişkenlikler gerçekleşse dahi hedeflenen deney tasarımındaki numunelere ulaşılmıştır. Çekme mukavemeti testi, *Instron* marka çekme mukavemet cihazında operatör etkisi elimine edilerek gerçekleştirilmiştir.

### **Çalışmanın Katkısı**

Literatürde, elyaf içerikli kompozit malzemelere uygulanan çekme mukavemeti optimizasyon çalışmalarına yönelik birçok teze rastlanmıştır ve literatür taraması bölümünde detaylarına yer verilmiştir. Bu çalışmanın; literatürde yer alan elyaf içerikli çekme mukavemeti optimizasyon çalışmalarına nazaran ilk farkı; malzemenin kompozite dönüştürülmeden, keçe cam elyaf formundayken çekme mukavemeti değeri üzerinde optimizasyon çalışılmasıdır. Aynı zamanda, B2B yapısında paydaşlar arasında karşılıklı

kazanç sağlayan bir çalışma olması ile de katkı sağlayacaktır. Çalışmayı literatürde yer alan diğer çalışmalardan ayrıştıran ikinci fark ise, faktör olarak birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı kombinasyonu ile çalışılmasıdır.

Dolayısı ile hem seçilen malzeme türü hem de faktör kombinasyonunun eşsiz olması ile literatürdeki benzer tezlerden ayrışmaktadır.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür araştırmasında, 2000-2024 yılları arasındaki çalışmalar incelenmiştir. İncelemelerde; ağırlıklı olarak cam elyaf, optimizasyon, mukavemet, yanıt yüzey yöntemi anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Aşağıda sondan başa doğru kronolojik olarak çalışmalar yer almaktadır.

Yoldaş (2023), deniz araçlarında kullanılan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonlarının deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. 0-90 kat cam elyaf ve karbon elyaf kullanılarak oluşturulan kompozit malzemeler 30 ve 60 günlük periyotlarla deniz suyuna maruz bırakılmıştır. Yanıt olarak; çekme, eğme ve darbe mukavemeti alınmıştır. Çalışma sonucunda; karbon elyaf içeren numunelerin daha az şekil değiştirdiği, karbon elyafın cam elyafa göre daha yüksek mukavemet sağladığı, karbon elyafın deformasyona daha dirençli olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Öztürk ve arkadaşları (2023), cam elyaf takviyeli kompozitlerin su soğurum ve mekanik özellikleri üzerine optimum yaşlanma ve üretim parametrelerini incelemek üzere çalışmıştır. İncelemede yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Üretim parametrelerinde; kütleme sıcaklığı 20-100 C°, yaşlandırma sıcaklığı 20-70 C°, tuz oranı %3-35 aralıklarında incelenmiştir. YYY modeli sonunda açıklama seviyesi olan R<sup>2</sup> değeri %80'den büyük çıkmıştır. Çalışma sonucunda; kütleme ve yaşlandırma sıcaklığı arttıkça su soğurum özelliğinin iyileştiği ancak tuz oranının ters orantılı ilişki gösterdiği görülmüştür. Yaşlandırma derecesi ve tuz oranı, çekme mukavemeti üzerinde en etkin faktörler olarak bulunurken optimum çekme mukavemeti yanıtına 100C° kütleme sıcaklığı, 20C° yaşlandırma sıcaklığı ve %19,8 tuz oranı ile ulaşılmıştır.

Abdalrahman (2023), tek çentikli elyaf takviyeli polyester laminasyonlarda çentik şekli, ebadı ve gerilme oranının çentik çekme mukavemet oranı üzerindeki etkisini incelemiştir. Faktörler 3 seviyeli olarak ve 9 tasarımlı Taguchi metodu kullanılarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; yanıt üzerinde çentik ebadı, şekli ve gerilme oranı faktörlerinin sırasıyla %46,7, %40 ve %6,4 oranlarında etkili olduğu bulunmuştur. En küçük U tipi çentik ve en düşük gerilme oranı ile en yüksek çekme mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

Hu, Yang ve arkadaşları (2022), cam elyaf süspansiyon karakteristikleri ve cam elyaf fiziksel özellikleri arasındaki korelasyonu üzerine çalışmışlardır. Etken faktörler arasında; işlem süresi ve hızı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; 11,0°SR ve 200 mPas değerleri ile süspansiyonun homojenleştirilmesi ve en boy oranının azaltılmasının drenajı arttırdığı görülmüştür. %81,5 oranda 2 dk için 500r/dk dağıtım hızı ile çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür.

Iliyasu ve arkadaşları (2022), deleb palm elyaf katkılı epoksi kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin elyaf parametreleri ile optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Elyaf katkılı kompozitlerde optimizasyon çalışmaları daha önce de yapılmış olmasına karşılık deleb palm elyaf kullanılarak ilk defa bu tez ile çalışılmıştır. Çalışmada, optimizasyon aracı olarak yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Kompozit içerisindeki elyaf ağırlık yüzdesi %30-35, elyaf uzunluğu 1-5 mm olarak deney tasarlanmıştır. Çekme katsayısı, çekme mukavemeti, eğme mukavemeti, darbe enerjisi ve su absorpsiyonu üzerine araştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda; ağırlıkta %38,3 elyaf payı ve 3 mm elyaf uzunluğu ile optimum deleb palm katkılı kompozit malzeme elde edilmiştir.

Nadondu ve arkadaşları (2022), karbon elyaf ve durian elyaf ile üretilmiş polilaktikasit hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine optimizasyon çalışması yürütmüşlerdir. Çalışmada, ekstrem karışım yanıt yüzey yöntemi uygulanmıştır. Yanıt olarak çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve sertlik değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, yanıt yüzey yöntemi ile bulunan matematiksel modellemeden gelen teorik yanıtlar ile gerçekleşen sonuçlar arasında uyum olduğu görülmüştür.

Kumar ve Sathish (2022), MAT kısaltması ile kullanılan cam elyaf takviyeli ve farklı ağırlıktaki nanokarbon parçacık takviyeli epoksi kompozitlerin geliştirmesi üzerine çalışmışlardır. Faktör olarak, cam elyaf MAT ve nanokarbon parçacık ağırlıkları; yanıt olarak ise darbe ve eğme mukavemetleri ele alınmıştır. Optimizasyonda kullanılan araç, yanıt yüzey yöntemidir. Çalışma sonunda; her iki takviye malzemesinde de kullanım yüzdesinin hem darbe hem de eğme mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi olduğu ispatlanmış ve matematiksel modelleme elde edilmiştir.

Yadav ve arkadaşları (2022), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve cam elyafın kompozitlerin aşınımı üzerindeki etkisini 5 seviyeli ve 4 faktörlü yapıda incelemesini yapmışlardır. Kullanılan metot, Taguchi



metodudur. Kullanılan faktörler; takviye içeriği, etki hızı, tahliye, etki açısıdır. Araştırılan yanıt, erozyon yüzdesidir. Çalışma sonucunda; takviye içeriği, % 10; etki hızı, 30m/s; tahliye, 1 g/dk; etki açısı, 45° bulunmuştur. Elde edilen modelleme ile bu değerlerle minimum erozyon yüzdesine ulaşıldığı görülmüştür.

Yaldız (2018), cam elyaf katkısının geri dönüştürülmüş poliamid plastiğinin mekanik özelliklerine etkisinin deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. Deneysel olarak elyafın ağırlıkça payı alınırken, sonuç olarak çekme ve darbe testi sonuçları değerlendirilmiştir. Elyaf katkı payı; % 7,5, % 15, % 22,5 ve % 30 olarak deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda; çalışılan her bir farklı malzeme grubunda cam elyaf katkısının optimum değerleri hesaplanmış ve çekme ve darbe dayanımları üzerindeki etkisi ispatlanmıştır.

Çakır ve Berberoğlu (2018), e-cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin elyaf oranındaki artış ile mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Hacimce % 30, % 40, % 50 ve % 60 oranlarında cam elyaf takviyesi ile mekanik özellikler üzerinde deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yanıt olarak; çekme, eğme ve 3 nokta eğme sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; her üç dayanım testi için de cam elyafın katkı yüzdesindeki artışın pozitif etki ettiği görülmüştür.

Yazıcı (2017), kendinden takviyeli polipropilen esaslı termoplastik kompozit levhalarda delik etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelemesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada laminasyon yöntemi ile üretilmiş kendinden takviyeli polipropilen esaslı termoplastik kompozit plakaların çekme ve kayma sonuçlarına deliğin etkisi incelenmiştir. İncelemede Abaqus yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; kendinden takviyeli kompozit yapılarda deliğin mukavemet düşüşüne olan etkisinin konvansiyonel yüksek mukavemetli elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit yapılara göre daha az olduğu görülmüştür.

Daban (2016), kompozit plakalarda farklı elyaf tabaka sayısı, farklı yapı ve istifleme sırasına bağlı optimum mekanik özelliklerin belirlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada yanıt yüzey yöntemi kullanılırken yanıt olarak üç nokta eğilme ve çekme mukavemeti değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; optimum reçine transfer kalıplama proses parametrelerine, istifleme sırası ve katman sayısına ulaşıldığı görülmüştür.

Youssef ve arkadaşları (2014), enjeksiyon kalıplamayla üretilen uzun elyaf katkı polipropilen malzemelerin mekanik özelliklerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmadaki öncelikli amaçlarından biri de kompozit malzemelerin maliyetinde azalma sağlamaktır. Matlab programı kullanılarak, mekanik özelliklerden çekme elastikiyet katsayısı, eğme elastikiyet katsayısı, çentikli izod darbe dayanımı incelenirken; deneylerde kompozit malzemelerin kompozisyonları değişken olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; uzun elyaf takviyeli kompozitlerde mekanik özelliklerin optimizasyonu için regresyon çalışılarak matematiksel modellemeye ulaşılmış, hedeflenen mekanik özelliklere daha kısa sürede ulaşılması imkânı elde edilmiştir. Bu çalışmanın tamamlayıcı hedeflerinden biri olarak belirlenen maliyet minimizasyonu sonucunda ise; cam elyaf ağırlığı azaltıldıkça maliyetin düştüğü ve bu iki çıktı ile iki hedefi de ön görerek optimizasyon yapılabileceği literatüre kazandırılmıştır.

Kuo ve arkadaşları (2014), cam elyaf katkı polioksümetilen kompozit malzemelerde çeşitli kalite karakteristiklerini etkileyen proses parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Proses parametrelerinden eritme sıcaklığı, kalıplama sıcaklığı, dolgu basıncı, enjeksiyon hızı ve dolgu zamanı faktörlerinin kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Deney tasarımları Taguchi metodu kullanılarak incelenmiştir. İncelenecek 4 kalite çıktısı olarak çekme mukavemeti, sertlik, darbe mukavemeti ve eğme mukavemeti seçilmiştir. Çalışma sonucunda; ağırlıkça %20 cam elyaf katkı, erime sıcaklığı 230C°, kalıplama sıcaklığı 60C°, dolgu basıncı 50 MPa, enjeksiyon hızı 60 mm/sn ve dolgu süresi 1,5 sn olarak optimum üretim parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler ile planlanan kalite çıktılarına ulaşmak için yeniden üretilebilir şekilde üretim yapılabildiği kanıtlanmıştır.

Türkmen ve Köksal (2013), cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı olarak mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Faktör olarak, elyaf katman sayısı alınırken; yanıt olarak, çekme, darbe ve üç nokta eğme mukavemeti değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; elyaf katman sayısı arttıkça her üç mukavemet değerinde de artış gözlemlenmiştir.

Lin ve arkadaşları (2010), kısa cam elyaf ve politetrafloroetilen katkı polikarbonat kompozitlerin mekanik özelliklerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Üç faktörün ağırlıklı yüzdesi değişken olarak çalışılmıştır. Çalışmada, yanıt yüzey metodunu DMD

metodu ile birleştirerek ANOVA sonuçları değerlendirilmiştir ve sonuca ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda; kısa cam elyaf, politetrafloroetilen ve polikarbonat faktörlerini sırası ile %0,76; %0,20; %0,04 olarak bulunmuştur. Kısa cam elyaf faktörünün hem çekme hem de eğme mukavemeti üzerinde en etken faktör olduğu görüldü.

Chauhan ve arkadaşları (2009), farklı ko-monomerlerle cam elyaf katkılı vinil ester kompozitlerin mekanik ve aşınım karakteristiklerini çalışmışlardır. Kompozitler üzerinde farklı ko-monomerler ile çekme, eğme mukavemetleri ve sertlik incelenmiştir. Hazırlanan rnekler arası karşılaştırma ile değerlendirme sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda; cam elyafla stiren ve btil akrilik kullanılarak oluşturulan kompozitlerin metil akrilik ile oluşturulan kompozitlere göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu sonucuna ulaşılırken, 3 ko-monomer için de sertlik ve aşınımında stabil bir değer grlmştir.

Gaitonde ve arkadaşları (2008), doymuş ve doymamış kompozitlerde daha iyi mekanik özellikler elde edebilmek için Taguchi yaklaşımı ile karşılaştırma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Doymamış poliamid PA6 türü malzeme ve %30 oranla cam elyaf katkılı doymuş poliamid PA66 malzemesi faktör olarak değerlendirilmiştir. ANOM, ANOVA, S/N değerlendirmelerine göre işlenebilirliğe en etken faktör olarak kesme hızı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; Taguchi ıktı raporuna göre hem PA6 hem de PP66 için, besleme oranı ve kesme hızının en düşük seviyede tutulması gerektiği ve PCD aracının da kullanılmasının faydalı olduğu grlmştir.

Fung ve Kang (2005), elyaf katkılı polibütilen tereftalatların sürtünme özellikleri için enjeksiyon kalıplama proses parametrelerinin optimizasyonunu çalışmışlardır. Çalışmada, optimizasyon araçlarından Taguchi kullanılmıştır. Sürtünme için yapılan incelemelerde enjeksiyon kalıplamadaki çeşitli girdiler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; optimum noktaya ulaşmak için 3 önerme çıkarmıştır.

Chang ve arkadaşları (2000), kısa cam elyaf katkılı polikarbonat kompozitlerin enjeksiyon kalıplama prosesinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, optimizasyon aracı olarak gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; optimum proses parametrelerine 5 maddede ulaşarak literatüre kazandırmışlardır.

Literatür taramasındaki makaleler, Tablo 2.1'de listelenmiştir.

**Tablo 2.1: Özet Literatür Listesi**

Yazar	Yıl	Başlık	Yöntem	Faktör	Yanıt
Yoldaş	2023	Deniz araçlarında kullanılan cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonlarının deneysel incelemesi	-	Cam elyaf ve karbon elyaf	Çekme, eğme ve darbe mukavemeti
Öztürk, Taş, Soykok	2023	Cam elyaf takviyeli kompozitlerin su soğurum ve mekanik özellikleri üzerine optimum yaşlanma ve üretim parametrelerinin incelenmesi	Yanıt Yüzey Yöntemi	Kürleme sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklığı, tuz oranı	Çekme mukavemeti
Abdalrahman	2023	Tek çentikli elyaf takviyeli polyester laminasyonlarda çentik şekli, ebadı ve gerilme oranının çentik çekme mukavemet oranı üzerine etkisi	Taguchi	Çentik şekli, ebadı ve gerilme oranının	Çekme mukavemeti
Hu, Zhang, Han, Yang	2022	Cam elyaf süspansiyon karakteristikleri ve cam elyaf fiziksel özellikleri arasındaki korelasyon: İşlem süresi ve hızının rolü	-	İşlem süresi ve hızı	Çekme mukavemeti
Iliyasu, Bello, Dibel, Oyedeji, Salami, Oyedeji	2022	Deleb palm elyaf katkılı epoksi kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin elyaf parametreleri ile optimizasyonu	Yanıt Yüzey Yöntemi	Elyaf takviye %si, elyaf uzunluğu	Çekme katsayısı, çekme mukavemeti, eğme mukavemeti, darbe enerjisi ve su absorpsiyonu
Nadondu, Surin, Deeying	2022	Karbon elyaf ve durian elyaf ile üretilmiş polilaktasit hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine optimizasyonu	Yanıt Yüzey Yöntemi	Karbon elyaf ve durian elyaf	Çekme mukavemeti, darbe mukavemeti ve sertlik
Kumar, Sathish, Rangappa, Boonyasopon, Siengchin	2022	Cam elyaf takviyeli ve nanokarbon parçacık takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerinin RSM metodu ile analizi	Yanıt Yüzey Yöntemi	Cam elyaf MAT ve nanokarbon parçacık ağırlıkları	Darbe ve eğme mukavemetleri

**Tablo 2.1:** (devam)

Yazar	Yıl	Başlık	Yöntem	Faktör	Yanıt
Yadav, Lee, Meena, Sharma	2022	Alümina ve cam elyafın kompozitlerin aşınımı üzerindeki etkisinin incelenmesi	Taguchi	Takviye içeriği, etki hızı, tahliye, etki açısı	Erozyon %si
Yaldız	2018	Cam elyaf katkısının geri dönüştürülmüş poliamid 6.6 plastiğinin mekanik özelliklerine etkisinin deneysel incelenmesi	-	Elyaf takviye %si	Çekme ve darbe mukavemeti
Çakır, Berberoğlu	2018	E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi	-	Elyaf takviye %si	Çekme, eğme ve 3 nokta eğme dayanımı
Yazıcı	2017	Kendinden takviyeli polipropilen esaslı termoplastik kompozit levhalarda delik etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi	Abaqus	Delik etkisi	Çekme ve kayma sonuçları
Daban	2016	Kompozit plakalarda farklı elyaf tabaka sayısı, farklı yapı ve istifleme sırasına bağlı optimum mekanik özelliklerin belirlenmesi	Yanıt Yüzey Yöntemi	Kalıplama parametreleri, istifleme sırası, katman sayısı	Üç nokta eğilme ve çekme mukavemeti
Youssef, Madhuranthakam, Elkamel, Mittal	2014	Enjeksiyon kalıplamayla üretilen uzun elyaf katkılı polipropilen malzemelerin mekanik özelliklerinin optimizasyonu	Matlab	Elyaf takviye %si	Çekme elastikiyet katsayısı, eğme elastikiyet katsayısı, çentikli izod darbe dayanımı
Kuo, Huang, Su, Lin, Lan	2014	Cam elyaf katkılı polioksimetilen kompozit malzemelerde çeşitli kalite karakteristiklerini etkileyen proses parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Eritme sıcaklığı, kalıplama sıcaklığı, dolgu basıncı, enjeksiyon hızı ve dolgu zamanı	Çekme mukavemeti, sertlik, darbe mukavemeti ve eğme mukavemeti

**Tablo 2.1:** (devam)

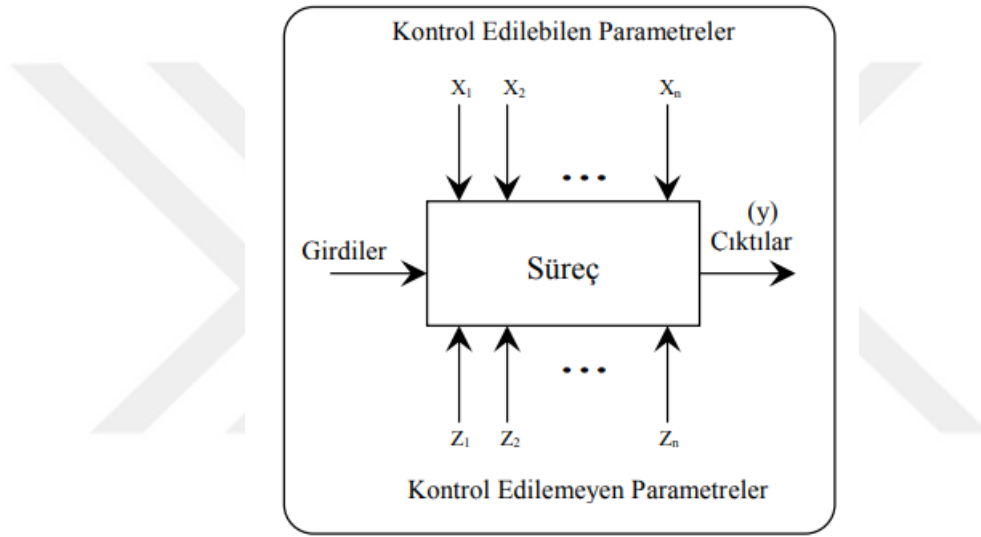
Yazar	Yıl	Başlık	Yöntem	Faktör	Yanıt
Türkmen, Köksal	2013	Cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi	-	Elyaf katman sayısı	Çekme, darbe ve üç nokta eğme mukavemeti
Lin, Lin, Yang	2010	Kısa cam elyaf ve politetrafloroetilen katkı polikarbonat kompozitlerin mekanik özelliklerinin optimizasyonu	Yanıt Yüzey Yöntemi-DMD	Katkı malzeme türü ve %si	Çekme ve eğme mukavemeti
Chauhan, Kumar, Patnaik	2009	Farklı komonomerlerle cam elyaf katkı vinil ester kompozitlerin mekanik ve aşınım karakteristikleri	-	Ko-monomer türü	Çekme, eğme mukavemetleri ve sertlik
Gaitonde, Karnik, Mata, Davim	2008	Doymuş ve doymamış kompozitlerde daha iyi işlenebilirlik elde edebilmek için Taguchi yaklaşımı	Taguchi	Kesme hızı, besleme oranı	İşlenebilirlik
Fung, Kang	2005	Elyaf katkı polibütilen tereftalatların sürtünme özellikleri için enjeksiyon kalıplama proses parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Enjeksiyon kalıplama parametreleri	Sürtünme
Chang, Hwang, Doong	2000	Kısa cam elyaf katkı polikarbonat kompozitlerin enjeksiyon kalıplama prosesinin optimizasyonu	GRA	Enjeksiyon kalıplama parametreleri	Ürün kalitesi

Literatür araştırmasında; elyaf içerikli mukavemet yanıtının optimizasyonu üzerine yapılan çalışmaların, elyaf kullanılarak üretilen kompozit malzemeler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Mekanik mukavemetle ilgili çıktılarda; elastikiyet katsayısı, eğme mukavemeti, darbe mukavemeti ve çekme mukavemetinin yaygın çıktılar olduğu görülmektedir. Elyafın işlenmeden sadece ham hali ile bir optimizasyona tabi tutulmadığı görülmüştür. Elyafın işlenmesi esnasında önemli parametrelerden biri olan çekme mukavemetinin, kompozit malzemelerin üretim çıktılarında önemli bir inceleme konusu olduğu da değerlendirilerek elyafta yapılan bu çalışma ile literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

### 3. DENEY TASARIMI

#### 3.1 Kavram ve İlkeler

Regresyon analizi, sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi veren ve bu ilişki ile ilgili tahmin oluşturacak regresyon modeli sunan bir istatistiksel analiz tekniğidir (Vural, 2007). Şekil 3.1’de genel olarak bir sistem veya sürecin yapısı temsil edilmiştir (Montgomery, 2008). Regresyon analizlerinde, bu süreçlerin genel ve/ya özel nedenlerini barındıran geçmiş verilerinden faydalanılmaktadır. Bu analizlerden yola çıkılarak makinelerde, makine öğrenimi sağlanabilmekte ve değişken faktörlere göre hedeflenen yanıtı ulaşabilmesi için makinelere otomatik komut oluşturulabilmektedir.

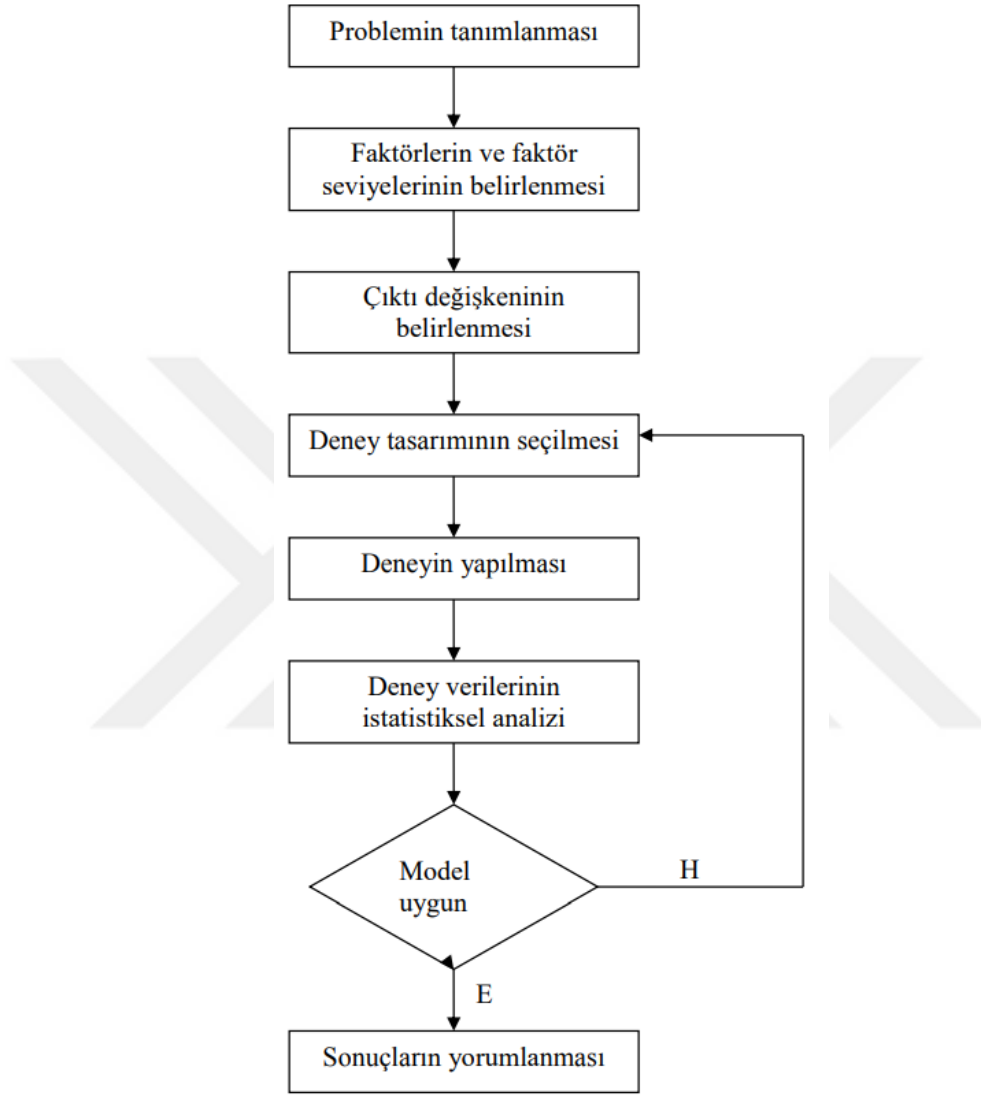


Şekil 3.1: Bir sistem veya sürecin genel modeli (Montgomery, 2008)

Deney tasarımının amacı da girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi matematiksel model ile ifadelendirmektir. Regresyon analizine göre farklı, geçmiş ana kütle ya da örneklem verilerini değil, tasarlanmış bir senaryodan elde edilen faktörler ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Sınırları belli olan bir parametre ya da ürün spesifikasyonunda limitlerde çalışmak geçmiş verilerde görülmeyebilir. Nominal çevresinde yoğunlaşabilen geçmiş veriler, sınır değerlerde gerçekleşebilecek çıktıları sunmayabilir. Deney tasarımında, alt ve üst sınırlarda planlı olarak deney yapıldığı ve modelleme mantığına veri sunduğu için avantaj sağlar. Dolayısı ile bir sonraki bölümde adımları tarif edilen deney tasarımı, doğru şekilde tasarlandığında anlamlı bir modelleme çıkarmak mümkündür.

### 3.2 Uygulama Aşamaları

Deney tasarımı sürecinde, izlenmesi gereken adımlar bulunmaktadır. Doğru sonuçlar veren bir deney tasarlamak için akışın takip edilmesi önem arz etmektedir. Deney tasarımının uygulama adımları Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Demir, 2004)



Şekil 3.2: Deney tasarımı uygulama süreci (Demir, 2004)

Deney tasarımlarında ilk aşama problem tanımlama safhasıdır. Problem tanımlama aşamasında; deneyin amacına hizmet eden veriler toplanarak problem açıkça ifade edilmektedir. Bu aşamada, neden bu deneye ihtiyaç duyulduğunun yanıtını verilmektedir. Doğru bir problem ifadesi, deneyin amaca ulaşma oranına etki etmektedir.

Tanımlanan problem üzerinde etken faktörlerin belirlenmesi ikinci aşamadır. Bu aşama için farklı metotlar kullanılabilir. Probleme etki eden faktörler belirlenirken; geçmiş verilerin



analizleri, beyin fırtınası, balık kılçığı, 5 neden analizi gibi yöntemler kullanılabilir. Doğru faktörlerin tanımlanması, deney maliyetlerini zaman ve kullanılan malzeme açısından azaltmaktadır. Faktör tespitine, seviye belirleme eşlik etmektedir. Faktörlerin hangi seviyelerde çalışılması gerektiğine karar verilir. Faktör seçimleri, kontrol altına alınabilir olmalıdır çünkü seçilen faktör ve seviyeleri, bir deney gerçekleştirebilmek için numune hazırlığı aşamasında gereklidir. Tüm aşamalarda olduğu gibi faktör ve seviyelerinin belirlenmesi aşamasında da incelenen problemin yer aldığı süreci bilen ve tecrübeli kişilerden oluşan bir çekirdek ekip ile çalışılması başarı oranını arttıracaktır.

Faktörler ve seviyeleri belirlendikten sonra problemi tanımında yer verilen ve süreçte araştırılmak istenen çıktı değişkeni belirlenmektedir. Çıktı değişkeninin belirlenmesi aşamasında, probleme hizmet eden bir değişken seçilmesine özen gösterilmelidir. Gürültü değişkenleri, hedeflenen numunenin hazırlanmasında sorun yaratacağından doğru faktör seçimi ile bu aşamada seviyeler daha sağlıklı belirlenebilmektedir.

Tanımlanan problem, problemi temsil eden çıktı ve bu çıktı değişkene etki edeceği düşünülen faktör ve seviyeleri belirlendikten sonra, bu verilere uygun deney tasarımı seçim aşaması gelmektedir. Deneyin amacına uygun olarak deney tasarımı tekniğinin seçilmesi gerekmektedir (Demir, 2004).

Planlanan deney tasarımına göre deneyler gerçekleştirilir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için istatistiksel analiz araçları kullanılır. SPSS, MINITAB vb. uygulamalar bu araçlardan birkaçıdır. Kullanılan deney tasarımında klasik yöntemlerin yetersizliği, istatistiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilmiştir (Taşgetiren ve Gökçe, 2009). Deney analizi sonrasında; sonuçların geçerliliğini ispatlamak amacıyla uygunluk testleri gerçekleştirilir. Son olarak deney ve analiz sonuçları değerlendirilerek yorumlanmaktadır.

### **3.3 Yaygın Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri**

#### **3.3.1 Yanıt Yüzey Yöntemi**

Bu bölüm altında; tez çalışmasında kullanılacak istatistiksel analiz yöntemlerinden yanıt yüzey yöntemi detaylandırılacaktır. Yanıt Yüzey Yöntemi, istatistiksel analiz yöntemlerinden biridir. Süreç parametreleri ile çıktılar arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir metottur. YYY, kullandığı tasarım yaklaşımları ile deney sayısı olarak daha az sayıda deney

ile daha çok sayıda değişkeni ve aralarındaki etkileşimleri değerlendirerek optimum değerlere ulaşılmasına yardımcı olmayı sağlamaktadır (Yoğurtçu, 2019).

YYY yöntemi, temelindeki deney tasarımı yaklaşımı ile deney maliyeti yüksek ürünlerde tercih edilmektedir. Bu yöntem ile amaç; optimum yanıtı elde edebilmek için matematiksel modelleme oluşturmaktır. Hedeflenen yanıtı ulaşmak için, olması gereken faktör girdilerine ya da çalışılan faktör değerleri ile potansiyel yanıtı ulaşılabilir. Bu yöntem, çok faktörlü karmaşık süreçlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için bu süreçlerin modellemesi ve optimizasyonu amacıyla ilk olarak Box ve Wilson tarafından sunulmuştur (Ergül ve arkadaşları, 2019).

Yanıt, bağımsız değişkenin bir lineer fonksiyonu olarak iyi bir yorum veriyorsa, yaklaşım Eşitlik (3.1)'de verildiği gibi birinci dereceden bir modeldir (Ergül ve arkadaşları, 2019). İkinci dereceden bir model olduğunda ise, sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik olduğundan Eşitlik (3.2)'de verildiği gibi bir model oluşacaktır (Myers, 2016).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.1)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;  $y$  yanıt değişkenini,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ , bilinmeyen regresyon parametrelerini,  $x_i, x_j$  süreç değişkenlerini ( $i=1, 2, \dots, k$ ) ve ( $j=1, 2, \dots, k$ ) ve  $\varepsilon$  hata terimini göstermektedir (Myers, 2016).

Yanıt yüzey yönteminde model, ikinci dereceden bir modeldir. Tüm 2-parametre etkileşimlerini, eğrileri ve lineer olmayan değerleri kapsayabilmektedir. YYY, bu kapsamı ile yanıt hakkında önemli bilgiler verebilmektedir (Erdoğan, 2007).

En çok kullanılan YYY dizaynları; 'CCD-Central Composite Dizayn' ve 'Box-Behnken Dizayn'dır (Erdoğan, 2007). Deney sayısı, parametre sayısına göre artış göstermektedir ancak kullanılacak dizayna göre de denklemde kullanılan parametre sayısının deney sayısındaki artışa etkisi farklılık göstermektedir. Bilgisayar destekli dizaynlardan; tam faktöriyel dizayn, 3 seviyeli ortogonal dizayn, CCD dizayn ve D-Optimal dizayn için deney

sayıları Tablo 3.1’de gösterilmiştir (Erdoğan, 2007). Tabloda görüldüğü gibi seçilen deney tasarımı metoduna göre deney sayısı değişkenlik göstermektedir.

**Tablo 3.1:** Yaygın modellerin deney sayıları (Erdoğan, 2007)

Parametre Sayısı	Tam Faktöriyel Dizayn (3k)	3-Seviyeli Ortogonal Sıra	CCD Dizayn	D-Optimal Dizayn
3	27	27	15	10
4	81	81	25	15
5	243	81	43	21
6	729	-----	77	28
7	2187	-----	143	36
Denklem	$3^n$		$2^n+2n+1$	$(n+1)*(n+2)/2$

Yanıt yüzey yönetiminde, 3 tip tasarım bulunmaktadır. Bu tasarımlar, Minitab istatistiksel analiz aracında da seçenekler arasında yer almaktadır.

1. Merkezi bileşik tasarım
2. Yüzey merkezli merkezi bileşik tasarım
3. Box-Behnken tasarımı

Merkezi bileşik tasarımında, küp şeklinde simgelenen veri uzayında yüzeyden  $\alpha$  değeri kadar uzaklıkta çözüm uzayına ulaşılabilir. Buna karşılık yüzey merkezli (*face-centered*) merkezi bileşik tasarımda ise, çözüm yüzey üzerinde yer alır. Bu nedenle  $\alpha$ , her zaman 1’dir. Merkez noktanın kaç kez tekrarlanacağı, opsiyonlar arasında yer alır. Box-Behnken tasarımda ise,  $3^k$  faktöriyel tasarımın bir alternatifi olarak kullanılmaktadır.

Yöntem ve tasarım seçildikten sonra, tasarlanan deneye göre istatistiksel analiz çalıştırılmaktadır. Çalışma sonucunda, bir matematiksel model elde edilir. Yanıt yüzey yönteminde sürekli verilerle çalışıldığı için optimum değer, matematiksel modellemeden hesaplanarak bulunan küsuratlı değerler olabilmektedir.

Matematiksel modellemede, faktörlerin yanıtı açıklama yüzdesini ifade eden katsayı  $R^2$  olarak simgelenmektedir. Örneğin;  $R^2$ , %97,5 hesaplanmış ise, bulunan matematiksel modelleme, yanıtı %97,5 oranla açıklamaktadır. ANOVA içerisinde faktörlerin birinci dereceden, ikinci dereceden ve ikili etkileşimler içeren varyasyonları değerlendirilmektedir. ANOVA tablosundaki p değerleri, hedeflenen güven aralığı olan  $\alpha$  değeri ile kıyasla kabul edilir ya da modellemeden çıkartılarak hem  $R^2$  değeri iyileştirilir hem de optimum sonuçlara

daha yakın değerler elde edilebilir. Minitab programındaki “backward elimination” seçeneği, hesaplanan p değerlerini dikkate alarak bu elemeyi kullanıcı için yapan bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bazı durumlarda manuel eleme yapmak daha sağlıklı olabilmektedir.

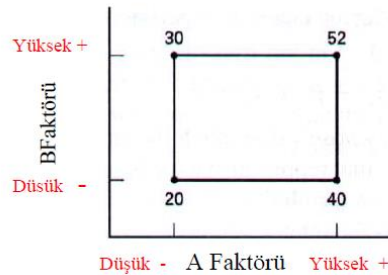
### 3.3.2 Faktöriyel Tasarım

Bir veya birden fazla girdinin çıktı üzerindeki etkisini incelemek için kullanılan yöntemlerden biri de faktöriyel tasarımıdır. Bu yöntem, faktörlerin yanıt üzerindeki etkisini hem bireysel hem de etkileşimli olarak hesaplamaktadır.

Deneylerin rassal olması, deney sonuçlarının doğruluğu açısından önem arz etmektedir (Özden, 2020). Doğada olaylar normal dağılıma eğilimlidir. Rassal olan tasarımların da bu davranışa uygun olarak homojen yapıda olacağı varsayılmaktadır. Bu da tasarımdan gelecek hataların minimize edilerek daha sağlıklı modeller oluşmasını sağlamaktadır.

Faktöriyel tasarımda; bir faktörün basit etkisi, o faktörün belli bir seviyesinde diğer seviyeleriyle arasındaki farka denir (Karakoç, 2006). Şekil 3.3’de gösterilen her biri 2 seviyeli olan 2 faktörlü faktöriyel tasarımın okunuş örneği řu şekildedir: B’nin düşük seviyesinde A’nın etkisi, 40-20 hesaplamasından 20 birim; B’nin yüksek seviyesinde A’nın etkisi, 52-30 hesaplamasından 22 birimdir.

Bir faktörün esas etkisi ise, basit etkilerin ortalamaları alınarak hesaplanır (Karakoç, 2006). Bir faktörün yüksek ve düşük seviyedeki ortalama etkiler farkı, o faktörün esas etkisini verir. Örneğin basitçe ifade edilen Şekil 3.3’teki anlatım için; A faktörünün esas etkisi,  $(52+40)/2 - (30+20)/2$  ile 21 birim olarak hesaplanmaktadır (Karakoç, 2006).



Şekil 3.3: İki faktörlü faktöriyel tasarım (Karakoç, 2006)

Deney tasarımında birçok değişken ile çalışıldığında, her değişken için ikiden fazla deney yapılması ekonomi ve zaman açısından bazen olanaksız, bazen de gereksiz olduğundan değişken kombinasyonları Yates veya standart düzenleme denilen özel bir sıralama ve notasyon ile verilmektedir. Tablo 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'teki söz konusu notasyonda (1), bütün değişkenlerin düşük seviyede olduğunu; (ab), A ve B değişkenlerinin yüksek seviyede olduğunu ve eğer varsa diğer değişkenlerin düşük seviyede olduğunu; (+), değişkenin kombinasyonda yüksek değere sahip olduğunu ve son olarak (-), değişkenin kombinasyonda düşük değere sahip olduğunu göstermektedir (Bulut ve Özer, 1990).

**Tablo 3.2:** 2 faktöre göre yates sıralaması (Bulut ve Özer, 1990)

Yates Sıralaması	A Faktörü	B Faktörü
-1	-	-
a	+	-
b	-	+
ab	+	+

**Tablo 3.3:** 2 faktörlü tasarımda kombinasyonların toplam etkileri (Bulut ve Özer, 1990)

Yates Sıralaması	Denklem
-1	$1+a+b+ab$
a	$a+ab-(1+b)$
b	$b+ab-(1+a)$
ab	$1+ab-(a+b)$

**Tablo 3.4:** 3 faktöre göre yates sıralaması (Bulut ve Özer, 1990)

Yates Sıralaması	A Faktörü	B Faktörü	C Faktörü
-1	-	-	-
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	-
c	-	-	+
ac	+	-	+
bc	-	+	+
abc	+	+	+

**Tablo 3.5:** 3 faktörlü tasarımında kombinasyonların toplam etkileri (Bulut ve Özer, 1990)

Yates Sıralaması	Denklem
-1	1+a+b+ab+c+ac+bc+abc
a	a+ab+ac+abc-(b+c+bc+1)
b	b+ab+bc+abc-(a+c+ac+1)
ab	ab+1+abc+c-(a+b+ac+bc)
c	c+ac+bc+abc-(1+a+b+ab)
ac	ac+abc+b+1-(a+c+ab+bc)
bc	bc+abc+a+1-(b+c+ab+ac)
abc	a+b+c+abc-(ab+ac+bc+1)

2 faktörlü faktöriyel tasarım için genel ifade, Eşitlik (3.3)'te verilmiştir.

$$y = k_1 + k_2 * x_1 + k_3 * x_2 + k_4 * x_1 * x_2 \quad (3.3)$$

$$k_1 = (1)\text{için toplam etki}/(2.2^n)$$

$$k_2 = (a)\text{için toplam etki}/(2.2^n)$$

$$k_3 = (b)\text{için toplam etki}/(2.2^n)$$

$$k_4 = (ab)\text{için toplam etki}/(2.2^n)$$

3 faktörlü faktöriyel tasarım için genel ifade ise, Eşitlik (3.4) ve Eşitlik (3.5)'te verilmiştir.

$$y = k_1 + k_2 * x_1 + k_3 * x_2 + k_4 * x_1 * x_2 + k_5 * x_3 + k_6 * x_1 * x_3 + k_7 * x_2 * x_3 + k_8 * x_1 * x_2 * x_3 \quad (3.4)$$

$$x = \frac{\text{faktörün sınanma değeri} - \text{Standart değer}}{\text{Düşük (Yüksek) Değerle Standart Değerin Farkı}} \quad (3.5)$$

### 3.3.3 Taguchi Metodu

Taguchi metodu, Japon mühendis Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Deney tasarımı, ilk defa 1920'li yıllarda A. Ronald Fisher tarafından verimlilik artışı amacıyla çalışılmıştır.

Üretim endüstrisinin önemli gelişmelerinden biri, modern çevrimdışı kalite kontrol tekniklerinin proses ve/ya ürün mühendisliğinde uygulanmasıdır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Profesör Taguchi, felsefesini W.E. Deming'in yapmış olduğu bu çalışmaların üzerine geliştirmiştir.

Taguchi, kalitenin üretimden önce tasarımdan kaynaklanacağına odaklanmıştır. Taguchi'ye göre kalite, sadece üründe oluşan hata ile sınırlı değil, ürün son kullanıcıya ulaştıktan sonra toplumda meydana getirdiği kayıpla ilişkilidir (Bryne ve Taguchi, 1986). Geleneksel

tanımlar genellikle üretici ve ürün odaklıdır ve bu kalitesizlik maliyeti genelde hurda, servis ve yeniden işleme gibi maliyetleri barındırır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Taguchi; kalitesizliğin sapmalardan geldiğine odaklanmıştır. Buna göre değişkenliğin azaltılması üzerine çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmalarda değişkenleri; kontrol edilebilir ve edilemeyen yani gürültü faktörleri olmak üzere ikiye ayırır. Taguchi'nin amacı, kontrol edilebilir olanlara odaklanarak aralarında en iyi opsiyonları seçmek ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi olsa dahi minimuma indirmektir (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

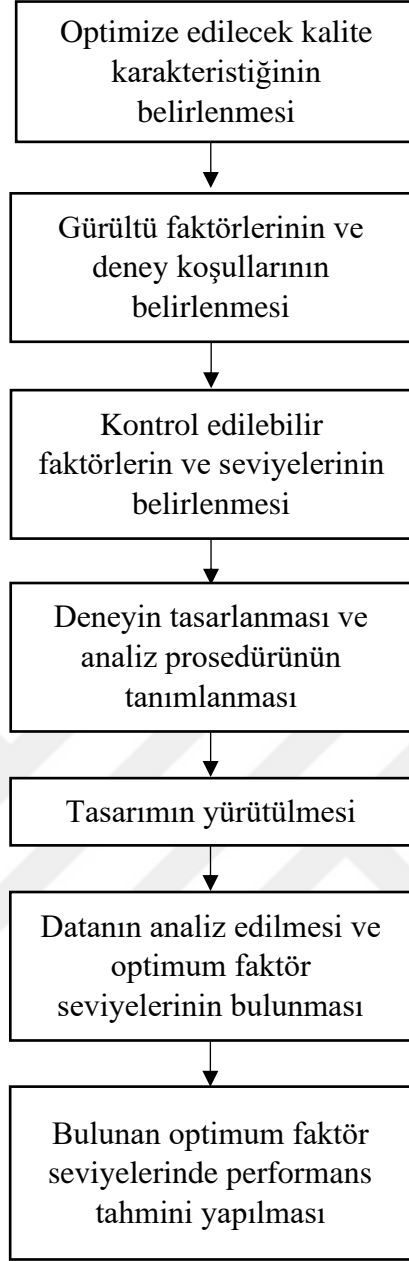
Taguchi, çok değişkeni olan sistemlerde daha az sayıda deney ile ihtiyacı karşılayabilmek için ortogonal dizilerden faydalanmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). L harfi, ortogonal diziyi, rakam ise satır sayısını yani deneme sayısını ifade etmektedir. Örnek olarak L9 ortogonal dizi, Tablo 3.6'da verilmiştir (Ünal ve Dean, 1991).

**Tablo 3.6:** L9 ortogonal dizi (Ünal ve Dean, 1991)

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2 veya 3 seviyeli n faktörlü tasarımlar için sırası ile  $2^n$  ve  $3^n$  denklemleri ile hesaplama yapıldığında yüksek deney sayılarına ulaşılmaktadır. Örneğin 3 seviyeli 4 faktör ile yapılan bir tasarım için  $3^4$  denkleminde 81 deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak Tablo 3.6'da verilen L9 ortogonal dizini ile 9 deneyde 81 deneylik sonuç elde edilmesi hedeflenir.

Taguchi metodunda, bunun gibi ortogonal diziler ile tasarım yapılır. Bu tablolar, Minitab gibi bazı istatistiksel analiz araçlarının içerisinde mevcuttur. Proses özelinde değişkenlik gösteren faktör ve seviye değerlerine göre uygun ortogonal dizilere ulaşılabilmektedir. Taguchi metodunda, uygulama adımları Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Ünal ve Dean, 1991).



**Şekil 3.4:** Taguchi metodu uygulama adımları (Ünal ve Dean, 1991)

Standart deney tasarımı adımlarına kıyasla Şekil 3.4'te paylaşılan Taguchi metodunun uygulama adımlarında, gürültü faktörlerinin ve deney koşullarının belirlenmesi adımı yer almaktadır. Bu da Taguchi metodundaki kontrol edilebilir faktörlere verilen önemi göstermektedir.

### **3.4 Deney Tasarımı Yöntemlerinin Kıyaslanması**

Veri Tipi açısından karşılaştırma: Yanıt yüzey yönteminde incelenmek istenen tüm faktörlerin nicel olması gerekmektedir. Buna karşılık Taguchi ve faktöriyel yöntemlerinde, nicel faktörlerin yanı sıra nitel faktörler de değerlendirmeye alınabilmektedir. Nitel faktörü



kullanabilmek, Taguchi ve faktöriyel yöntemleri için bir avantaj teşkil etmektedir çünkü eğer yanıtı etkileyen nitel bir faktör varsa yanıt yüzey yöntemi kullanılamamaktadır.

Optimum faktör seçim yöntemi açısından karşılaştırma: Yanıt yüzey yöntemi, deney tasarımındaki faktörler için seviye sınırları içerisinde optimum değeri hesaplamaktadır. Değerler sürekli verilerdir ve küsuratlı net optimum değeri verebilmektedir. Buna karşılık; Taguchi yöntemi, deney tasarımında verilen faktör kombinasyonlarından en iyisini seçmektedir. Dolayısı ile deney tasarımında belirlenen seviyeler, daha büyük önem arz etmektedir. Optimum sonuca ulaşılmasında, yanlış tasarım yapılması engel teşkil edebilmektedir. Faktöriyel yöntemi de sürekli veriler için yanıt yüzey yöntemindeki gibi seviyeler arası optimum değeri hesaplamaktadır ve kesikli veriler için de optimum seçeneği seçmektedir.

Aynı zamanda yöntemler, denklem hesaplamalarında da farklılık göstermektedirler. Taguchi yönteminde denklem yoktur, deney tasarımındaki optimum alternatif seçilmektedir. Buna karşılık yanıt yüzey yönteminde, 2. derece denklem; faktöriyel yönteminde, 1. derece denklem kullanılmaktadır. Yanıt yüzey yönteminin 2. derece denklem kullanması ile her bir faktörün kendisiyle karesel etkileşimini de dahil ettiği için daha yakın optimum değerler bulunabilmektedir ve bu bir avantaj sağlamaktadır.

Faktörlerin etkileşimleri; yanıt yüzey yönteminde lineer, karesel ve faktörler arası ikili etkileşim halindedir. Bir önceki paragrafta belirtilen avantaj, bu özellikle birlikte daha da güçlenmektedir. Buna karşılık; Taguchi yönteminde, deney tasarımında ikili etkileşimler eklenebilirken, faktöriyel yönteminde lineer ve 2'li, 3'lü gibi etkileşimleri dahil edilebilmektedir.

Deney sayısı açısından karşılaştırma: Yanıt yüzey yöntemi, bu üç yöntem arasında en çok deney sayısına ihtiyaç duyan yöntemdir. Bu nedenle deney maliyeti daha yüksektir. Seçilen faktör sayısına göre değişkenlik gösterse dahi Taguchi ve faktöriyel yöntemleri daha az deney sayısına ihtiyaç duymaktadırlar.

Faktör seviyeleri açısından karşılaştırma: Yanıt yüzey ve faktöriyel yöntemlerinde, tüm faktörlerin (-alfa, 0, +alfa) olarak eşit seviye sayısına sahip olması gerekmektedir. Taguchi

yönteminde ise faktörler farklı seviyelere sahip olabilmektedir. Örneğin; bir faktör 2 seviyeli iken, diğerleri 3, 4, 5 gibi farklı seviyelere sahip olabilir.

Faktör sayıları açısından karşılaştırma:

Taguchi Yöntemi, faktör sayısı açısından en avantajlı yöntemdir. Taguchi, Faktöriyel ve Yanıt Yüzey Yöntemleri sırası ile maksimum 30, 15 ve 10 faktör kullanabilirler. Dolayısı ile incelenecek sorun için faktör sayısı fazla ise seçilecek yöntem de buna göre bir kısıt sağlayacaktır.



## 4. KEÇE CAM ELYAF VE KOMPOZİTLER

### 4.1.1 Keçe Cam Elyaf

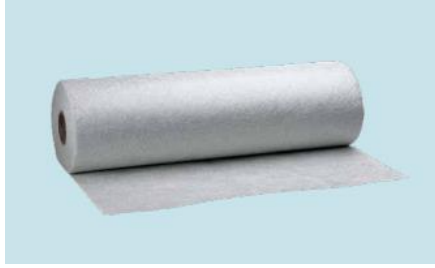
Cam elyaflar, kimyasal içeriklerine göre çeşitlilik göstermektedir. Cam türüne göre birçok cam elyaf çeşidi bulunmaktadır. E cam elyafın ana malzemeleri; alümina, kireç ve borosilikattır. Çekme mukavemeti, basma mukavemeti ve elektrik yalıtım özellikleri açısından avantajlıdır. Diğer cam türlerine göre daha az maliyetle üretilir fakat darbeye karşı dayanımı nispeten daha azdır. C cam elyaf, kimyasal teması karşı dayanımı yüksektir. Genellikle içerisinden kimyasal ya da sıvı geçen boru üretimlerinde veya tankların iç yüzeyinde kullanılmaktadır. R, S, T cam elyaf, E cam elyafa kıyasla daha yüksek çekme ve basma mukavemetine sahiptir. Genellikle savunma ve uzay sanayiinde kullanılmaktadır (Genç, 2006).

Bu cam türlerine göre karakteristik farklılığı gösterebilen cam elyaf, kullanılan bağlayıcı içeriği ve oranı ile de farklı özellikler gösterebilmektedir. Bağlayıcılar, silan bazlı içerikler olup camla tepkimeye girerek bir kaplama görevi görür ve camı elyafa dönüştüren kimyasallardır. Bağlayıcı karışımının içerikleri ve oranlarına göre değişiklik göstermesine karşılık aynı içerik ve bağlayıcı ile cama entegre edilen bağlayıcı oranı da elyaf özelliğini değiştirmektedir. Cam elyaf keçe, cama bağlayıcı uygulanmasıyla elde edilen cam elyaf demetlerinden üretilmektedir. Üretim adımları aşağıdaki gibidir:

1. Cam elyaf demetleri bir taşıyıcı bandın üzerine aynı boylarda kırılmaktadır.
2. Kırılan elyafın üzerine ikincil bağlayıcı uygulanmaktadır. Bu bağlayıcı, toz ve sıvı bağlayıcı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İki tip keçe cam elyafın da kullanım alanları ve karakteristikleri farklılık göstermektedir.
3. Sürekli üretim hattında ikincil bağlayıcıyı almış elyaflar taşıyıcı bant yardımı ile fırında kurutma ve kürleme işlemine tabi tutulmaktadır.
4. Ürün, fırın çıkışında soğutma rulosundan geçirilerek soğutma ve presleme işleminden geçirilmektedir.
5. Son kullanıcı talebine göre uygun özelliklerde kesilip sarılmaktadır.

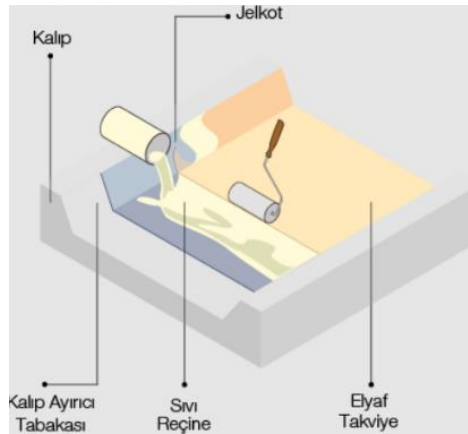
Keçe cam elyaf ürününü kullanan son üreticilerin üründen beklentileri, kendi proses özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Islanma süresi, çekme mukavemeti, kızdırma kaybı gibi özellikler, bu özelliklerden bazılarıdır. Keçe cam elyafların ana karakteristiği, birim alan ağırlığı değeridir ve türlerine ayrıştırılırken buna göre isimlendirilmektedir (Genç, 2006). Bu karakteristik,  $1 \text{ m}^2$ 'deki keçe cam elyaf ürün ağırlığını ifade etmektedir. Kızdırma

kayı, keçe ürünündeki bağlayıcı oranını ifade eder. Keçe cam elyaf örnek görseli, Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1:** Keçe cam elyafa ilişkin görsel

Şekil 4.1’de verilen keçe cam elyaf üzerine reçine uygulandıktan sonra kalıp pres uygulama ile istenen parça formu kazandırılmaktadır. Bu işlemde, keçe cam elyafın üzerine farklı içerik ve miktarda kimyasal uygulanarak transfer işlemi yapılabilmektedir. Bu nedenle, üzerindeki kimyasalı taşıyabilmesi için elyafın homojen dağılımı, presleme oranı ve kızdırma kaybı önem arz etmektedir. Bu karakteristikler, elyafın çekme mukavemeti üzerine etki etmektedir. Keçe cam elyafa uygulanan işlemlerden, el yatırması yöntemi Şekil 4.2’de paylaşılmaktadır.



**Şekil 4.2:** El yatırması yöntemi ile keçe kullanımı

Şekil 4.2’de simgelenen el yatırması uygulamasında; keçe cam elyaf, jelkot ve reçine kullanılmaktadır. Bu bileşenlere rulo yardımıyla baskı uygulanarak kalıba uygun üretim yapılmaktadır. Bu tür üretimlerde, keçe cam elyafında çekme mukavemeti ihtiyacı düşükken, büyük parça üretimlerinde taşıma işlemi esnasında ve/ya otomatik üretim prosesi olan keçe cam elyaf kullanıcılarında rulonun çözülmesi esnasında çekme mukavemeti karakteristiği önem kazanmaktadır.

#### 4.1.2 Cam Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemeler, malzemede istenilen teknik özellikleri elde edecek iki veya daha fazla farklı bileşenin birbiri içerisinde çözünmeyerek bir araya getirilmesi ile elde edilen bir malzeme türüdür (İlhan ve Feyzullahoğlu, 2019).

Cam elyaf ve reçine, cam elyaf takviyeli plastikleri oluşturan iki ana malzemedir (Genç, 2006). Cam elyaf, takviye malzemesi olarak kullanılırken reçine ise matrisi oluşturmaktadır. Takviyede kullanılan cam elyafların keçe, kırpma, tek uçlu fitil, çok uçlu fitil gibi farklı türleri bulunmaktadır. Prosese ve üretilecek son ürün özelliklerine göre bu ürünler de kendi içinde farklı karakteristiklere sahip olarak üretilmektedirler.

Polyester reçine, vinilester reçine, epoksi reçine gibi reçineler de matris olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin klasik malzemelere göre avantajı, sonsuz kombinasyona sahip olmalarıdır. Hedeflenen malzeme özelliklerine ulaşılması için kompozitler avantaj sağlamaktadır. Bu sayede, malzemelerde aşağıdaki özellikler açısından istenen değerlere ulaşmak için kompozit malzemelerde farklı kombinasyonlar denenebilmektedir (Bağcı, 2010):

1. Yüksek Mukavemet: Cam elyaf malzemesi, doğada yüksek mukavemet için kullanılan önemli bir malzemedir.
2. Hafiflik: Cam elyaf malzemesi, plastik ve metale göre daha yüksek mukavemet değerleri sunabilen malzemedir.
3. Tasarım Esnekliği: Cam elyaf malzemesi, tasarımcının belirlemiş olduğu tasarıma uygun fonksiyonel, dizayn, ebat, şekil vb. birçok özellikte esneklik sağlamaktadır.
4. Boyutsal Stabilitate: Cam elyaf malzemesi, birçok mekanik ve çevresel koşullarda şekil ve fonksiyonelliklerini korumaktadır.
5. Yüksek Dielektrik Direnimi: Cam elyaf malzemesi, elektrik yalıtım özelliği ile kompozit malzemelerin kullanımında tercih edilmektedir.
6. Korozyon Dayanımı: Cam elyaf kullanımı, aşınım testlerinde üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle komponentin kullanılacağı yer ve koşullara göre tercih nedenidir.
7. Kalıplama Kolaylığı: Çelik türünde montaj gerektiren birçok parça için, cam elyaf malzemesinde kalıplama yöntemi ile oluşturulan kompozit malzemeler ile montaja gerek duyulmadan tek parça halinde üretim avantajı bulunmaktadır.

8. Yüzey Uygulamaları: Cam elyaf katkıli kompozitlerin üretiminde, özel pigment katkısı ile amaca uygun renkte üretim imkânı bulunmaktadır.
9. Şeffaflık Özelliği: Cam elyaf katkıli kompozitlerde, çözünme sonrası cam kadar ışık geçirgenliği imkânı sağlanabilmektedir.



## 5. UYGULAMA

### 5.1 Üretim Sisteminin ve Problemin Tanımlanması

Bu tez çalışması, cam elyaf üretim yapan bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Firmanın üretim hattında cam elyaf türlerinden olan (i) tek uçlu fitil, (ii) çok uçlu fitil, (iii) kırpma ve (iv) keçe ürünlerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan veriler, keçe üretim hattından alınmıştır.

Elyaf üretiminde, demet ve bobin olmak üzere iki tür yarı mamul ortaya çıkmaktadır. Bobinler tek uçlu fitili oluştururken, demetlerden çok uçlu fitil ve keçe üretimi yapılmaktadır. Stoka üretim yapılırken aynı zamanda sipariş bazlı üretim de yapılmaktadır. Mevcut siparişler ve satış tahminlerine göre üretim planlaması yapılarak yarı mamul üretimi yapılmakta ve belirlenen özelliklere göre nihai cam elyaf ürünü üretilmektedir.

Keçe cam elyaf üretiminde, çok sayıda demet sehpaye dizildikten sonra demetler, tambur bıçak arasından geçirilerek aynı uzunlukta kesilmektedir. Kırpılan elyaflar bir bandın üzerine homojen olarak dağıtılıp vakumlanarak banda çekilmektedir. İkincil bağlayıcı olarak sıvı ya da toz bağlayıcı uygulandıktan sonra fırında kurutma ve kütleme işlemi yapılmaktadır. Fırından çıkan ürün, soğutma rulosundan geçirilerek soğutma ve baskı işlemlerinden geçirilerek ürünün kendi içinde entegrasyonu sağlanmaktadır. Oluşan keçe, üretim planına göre uygun ölçülerde kesilmekte ve sonrasında sarılarak paketlenmektedir. Ürün çeşitliliği, uygulanan ikincil bağlayıcı türü, kullanılan demet çeşidi ve m<sup>2</sup>'deki ürün ağırlığı ile oluşmaktadır. Bu çeşitlerin de kendi içerisinde spesifikasyonları değişmektedir. Çekme mukavemeti, kızdırma kaybı, birim alan ağırlığı, ağırlık dağılımı, ıslanma karakteristikleri, spesifikasyon listesindeki başlıca ürün karakteristikleridir.

Keçe cam elyaf ürününün son kullanıcı olan üreticide kullanımı esnasında çekme mukavemeti önem kazanmaktadır. Keçe ürününün üzerine farklı ağırlık ve içeriklerde kimyasal uygulandıktan sonra taşıma işlemi gerçekleştirilmesi esnasında keçenin bu kimyasaldan gelen ağırlığı taşıyabilmesi, çekme mukavemeti ile ilişkilidir. Aynı zamanda sürekli üretim hattı bulunan keçe cam elyaf kullanan son üreticilerde, rulonun çekme kuvveti ile çekilmesi esnasında da çekme mukavemet karakteristiği önemli bir karakteristik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çekme mukavemeti üzerinde etken faktörlerin etkisi teorik olarak hesaplanabilirse, hedeflenen çekme mukavemeti değeri için yapılacak müdahale konusunda

imkân sağlanacak ve/ya müşteri taleplerinde gerçekleşecek herhangi bir değişiklikte hedeflenen çekme mukavemeti değerine daha kısa sürede ulaşılabilecektir. Bu tez çalışması uygulamasının gerçekleştirildiği üretim işletmesinin geçmiş üretim kayıtlarında yer alan ölçüm değerleri incelendiğinde, cam elyaf keçe ürünüde çekme mukavemeti karakteristiğine etki eden faktörlerin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu üzerine çalışılmasına karar verilmiştir. Çekme mukavemetinin optimizasyonu çalışılacak ürün olarak, nominalde 350 g/m<sup>2</sup> birim alan ağırlığına sahip keçe cam elyaf ürünü seçilmiştir.

## 5.2 Deney Tasarımında Kullanılan Faktör ve Yanıt Değişkenleri

Deney tasarımı aşamasında faktör olarak kızdırma kaybı ve birim alan ağırlığı değişkenleri, yanıt değişkeni olarak ise çekme mukavemeti alınmıştır. Deney kapsamında bağlayıcı çeşidi etken olmasından dolayı birebir karşılaştırma için deney numuneler, aynı zamanda aynı toz bağlayıcı türü ile hazırlanmıştır. Deney çalışmasında ele alınan faktörler ve yanıtla ilişkin detaylı bilgi izleyen paragraflarda açıklanmıştır.

Kızdırma Kaybı (%):

Kızdırma kaybı, cam elyaf üzerindeki bağlayıcı oranıdır. Keçe ürünüde 2 aşamada bağlayıcı uygulaması yapılır. Birinci uygulama; demet üretiminde elyaf oluşumu için, ikinci uygulama; kırılan demetlerin üzerine uygulamak içindir. Kızdırma kaybı hesaplaması, Eşitlik (5.1)'de verilmiştir (TSE, 1973).

$$P = \frac{m_2 - m_3}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte yer alan;  $m_1$  kap ağırlığını,  $m_2$  kap ve numunenin başlangıçtaki toplam ağırlığını,  $m_3$  ise kap ve kalıntısının yanma sonucu toplam ağırlığını göstermektedir.

Analizin aşamaları aşağıdaki gibidir:

1. Kabın darası 0,001 g hassasiyetle tartılır. Bu değer, Eşitlik (5.1)'deki  $m_2$  ağırlığıdır.
2. Keçe numuneleri 30x15 cm boylarında kesilir. Kesim aleti olarak giyotin makinesi kullanılır. Bu şekilde numune boylarında sapma olmadan uygun ölçümler elde edilir.
3. Numune, etüv fırınında  $105 \pm 20$  °C sıcaklıkta 1 saat süre ile yakılır.
4. Etüvden çıkarılan numuneler, desikatörde bekletilerek oda sıcaklığına ulaşıktan sonra tekrar tartılır.



5. Numuneler,  $625 \pm 20$  °C sıcaklıktaki fırında 30 dk bekletilir. Bu işlemle birlikte numune üzerindeki bağlayıcı uzaklaştırılmış olur. Bu değer, Eşitlik (5.1)'deki  $m_3$  ağırlığıdır.
6. Fırından çıkarılan numune, desikatörde bekletilerek oda sıcaklığına ulaştıktan sonra tekrar tartılır.
7. İlk tartım ile son tartım arasındaki yüzdesel eksilme farkı, bağlayıcı oranı olarak Eşitlik (5.1)'deki gibi hesaplanır.

Kızdırma kaybı, çalışmada faktör olarak değerlendirilecektir ve  $\pm \%0,2$  sapma ile tasarlanan değere yuvarlanarak kabul edilmiştir.

Birim Alan Ağırlığı (g):

Birim alan ağırlığı, keçe ürününün  $1 \text{ m}^2$ 'deki g cinsinden ağırlığıdır. Giyotin makinesinde kesilerek numuneler hazırlanır. Bu karakteristik, keçe cam elyaf ürünlerinde en temel karakteristiktir ve ürün tipini oluşturur. Birim alan ağırlığı, çalışmada faktör olarak değerlendirilecektir.

Çekme Mukavemeti (N):

Çekme mukavemeti, biri sabit biri hareketli 2 çeneye sahip çekme mukavemeti cihazında, numunelere sabit bir hızla F kuvveti uygulanarak numunelerde kopma anı gerçekleştiğinde cihazın ölçtüğü kuvvet ile ölçülmektedir.

Çekme mukavemeti testi için  $30 \times 15$  cm ebatlarında numuneler, giyotin makinesinde kesilir. Çekme mukavemeti cihazına, numune dik gelecek şekilde yerleştirilir. İşlem başlatıldıktan sonra çenelerden hareketli olan çektikçe üründe kopma gerçekleşir ve o anın F kuvveti cihaza kaydolur. Bu değer, çalışmada yanıt olarak değerlendirilecektir.

### **5.3 Tasarım ve Sonuçlar**

Yapılan çalışmada, toz bağlayıcı ile üretilmiş nominal  $350 \text{ g/m}^2$  ağırlıkta keçe elyafı kullanılmıştır. Çalışmada, bağlayıcı tipi, üretim hızı ve sıcaklık parametreleri sabit olarak değerlendirilmiştir. Numunelerin hazırlanması aşamasında bilinen bilgi birikimlerinden potansiyel faktörler değerlendirilmiştir.

Kalite kontrol planına göre düzenli aralıklarla toplanan geçmiş 2 yıllık veri, Minitab programı kullanılarak regresyon analizi yardımıyla modellenmiştir. Regresyon

analizlerinde, faktörlerin t-testi ile yapılan hipotez testi sonucunda Minitab ile elde edilen p değerlerinin, %95 güven düzeyinde 0,05  $\alpha$  (I. tip hata olasılığı) değerinden düşük olması halinde, yanıt üzerinde etken faktör olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan regresyon analizinden gelen modelleme sonucuna göre, kızdırma kaybı ve birim alan ağırlığı faktörlerinin p değerleri 0,05'ten küçük olduğu görülmüştür ve deney tasarımında değerlendirilmek üzere etken faktörler olarak seçilmiştir. Tecrübelerle göre de çekme mukavemeti karakteristiğine etki eden potansiyel etkenler arasında ilgili faktörlerin, en etken 2 faktör olduğu değerlendirilmektedir. Şirket gizliliği nedeni ile, çalışma sonuçları paylaşılmamıştır.

Üretim hattındaki genel ve özel nedenleri de barındıran yani gürültü faktörlerini de içeren verilerin regresyon analizi ile yorumlanması sonrasında, kızdırma kaybı ve birim alan ağırlığı faktörlerinin, çekme mukavemeti üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deney tasarımı aşamasına geçilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, 350 g/m<sup>2</sup> ağırlıklı keçe cam elyafında çekme mukavemeti değerinin maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Deney, kızdırma kaybı ve birim alan ağırlığı faktörleri ile yaygın bir deney tasarımı yöntemi olan yanıt yüzey yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Deney tasarlanırken “Merkezi Tümlşik Tasarım” (Central Composite Design) kullanılmıştır. Eksenel noktalar çözüm uzayı içinde kalacak şekilde “Yüzey Merkezli Tasarım” (Face Centered Design) kullanılmıştır. Merkez nokta deney sayısı belirlenirken, Minitab tarafından sabit ayar olarak kullanılan 5 merkez nokta seçeneği ile deney tasarlanmıştır. Deney tasarımında kullanılan faktör ve seviyeleri, aşağıda Tablo 4.1’de verildiği gibidir:

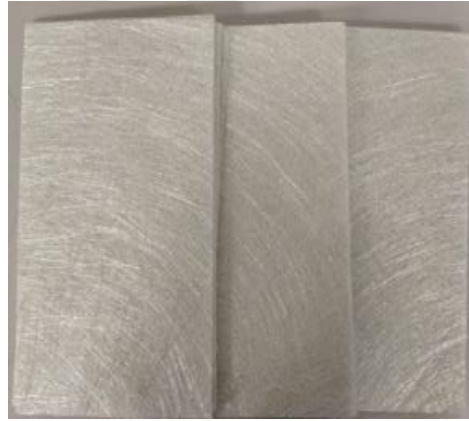
**Tablo 5.1:** Deney tasarım girdileri ve seviyeleri

Faktör	Birim	Sembol	Minimum Değer	Maksimum Değer
Kızdırma Kaybı	%	x <sub>1</sub>	4	6
Birim Alan Ağırlığı	gr.	x <sub>2</sub>	300	400

Testlerde kullanılan standart numune ebatlarına Bölüm 5.2’de yer verilmiştir. Tasarlanan deneydeki faktörler arası birebir karşılaştırma amacıyla tüm testler için çekme mukavemeti testinde kullanılan 30x15 cm’lik ebat kullanılmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra ilk olarak çekme mukavemeti testi uygulanacaktır. Bunun sebebi çekme mukavemeti testinin

numuneler elleçlenmeden uygulanması gerektiğindedir. Çekme mukavemet değeri elde edilen numunelere ilk ağırlık tartımı uygulanarak birim alan ağırlığı karakteristik değerlerine ulaşılacaktır. Son olarak, kızdırma kaybı test yönteminde tarif edilen yakma işlemi uygulandıktan sonraki son ağırlık tartımı ile bağlayıcı oranı yani kızdırma kaybı değerleri elde edilecektir. Bu yöntem ile birebir karşılaştırma avantajı sağlayarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Numunelerinin hazırlanma aşamasında, kütle üretimi ile seri imalat yapılan üretim tesisinde küçük ebatlarda üretim imkânı olmadığı ve ar-ge test hattı olmadığı için örneklemelerin gerçek üretim gerçekleşirken hat üzerinden alınması gerekmiştir. Başka bir deyişle, üretim hattında deney tasarımındaki parametreler ile küçük ölçekli üretimler yapmanın yüksek maliyet oluşturması nedeniyle, üretim içerisinden tasarlanan değerlere sahip numune seçimi yapılması planlanmıştır. 45 adet numune toplanarak deney tasarımına uygun numuneler temin edilmiştir. Numune görselleri, Şekil 5.1’de paylaşılmıştır. Deney tasarımındaki birim alan ağırlığı, kızdırma kaybı ve çekme mukavemeti testi tüm numunelere uygulanmıştır. Alınan değerlerden deney tasarımına uygun örneklemeler seçilerek tasarım tablosuna dahil edilmiştir.



**Şekil 5.1:** Hazırlanan numunelere ilişkin görsel

Test planında belirtildiği gibi birinci aşamada; numunelere çekme mukavemeti testi uygulanmıştır. Numuneler, elleçlenmeden giyotinde kesildikten hemen sonra çekme mukavemeti testine tabi tutulması gerektiğinden dolayı ilk sırada bu test uygulanmıştır. Testin görselleri, Şekil 5.2’de paylaşılmıştır.



**Şekil 5.2:** Çekme mukavemeti testine ilişkin görsel

Şekil 5.2'deki üst ve alt çeneler, numuneleri kaymayacak şekilde kavramaktadır. Üst çene ile numuneye çekme kuvveti uygulandıktan sonra numunedeki ayrışma noktası anındaki kuvvet, cihaz tarafından kaydedilmektedir. Bu değer, keçe cam elyafın çekme mukavemeti değerini ifade etmektedir. Operatör müdahalesi olmadığından, ilgili cihazın tahribatlı ölçüm sistemleri analiz sonucu yeterli gelmektedir.

Çekme mukavemeti testi uygulanan numuneler tartılarak ilk tartım değerleri elde edilmiştir. 30x15 cm'lik numunelerin ağırlıkları, 600 cm<sup>2</sup>'den 1 m<sup>2</sup>'ye dönüştürülerek gerçek birim alan ağırlıkları hesaplanmıştır. Şekil 5.3'te birim alan ağırlığı karakteristiğinin hesabı için ilk tartım gösterilmiştir.



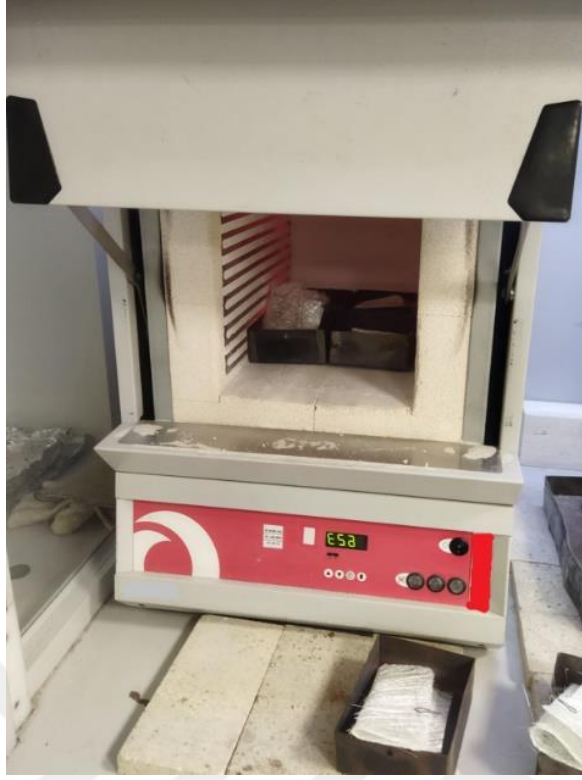
**Şekil 5.3:** Yakma öncesi tartım (ilk tartım)

Tüm birim alan ağırlığı değerleri bulunduktan sonra deney tasarımında hedeflenen değerlere sahip örneklemelere ulaşılması ile bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Burada numuneler, küçük çaplı deney ortamında değil üretim hattında hazırlandığından dolayı hedeflenen değerlere ulaşabilmek için 45 adet kadar çok sayıda örneklem alınmıştır. Deney tasarımındaki faktör seviyelerine ulaşıldığından dolayı deney tasarımına uygun değerlere sahip numuneler seçilerek deney süreci yürütülmüştür. Tartımı yapılan numuneler Şekil 5.4'teki gibi kızdırma kaybı testi için etüv fırınında yakma işlemine hazırlanmıştır.



**Şekil 5.4:** Kızdırma kaybı testi hazırlık görseli

Kızdırma kaybı test metodunun anlatıldığı 4.2 bölümünde nem değerinin önce hesaplanması için 105 °C'de 1 saat bekletildikten sonra ikinci aşamada 625 °C'de 30 dk yakılması belirtilmektedir. Burada amaç, nem değerine ihtiyacımız olmadan kızdırma kaybı değerine ulaşmak olduğu için Şekil 5.5'te verilen etüv fırınında 625 °C'de 30 dk bekletilerek numune üzerindeki bağlayıcı yakılarak uzaklaştırılmıştır. Desikatörde bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler son tartım işlemine alınmıştır.



**Şekil 5.5:** Kızdırma kaybı testi için kullanılan etüv firını görşeli

Yakma işleminden sonraki numune görşeli, Şekil 5.6'da verilmiştir.



**Şekil 5.6:** Yakma işlemleri sonrası tartım (son tartım)

Şekil 5.6'da keçe cam elyaf görselinden görülebileceği gibi yakma işleminden sonra bağlayıcı ile birbirine entegre olan elyaf filamentlerinin ayrıştığı görülmektedir. Elde edilen son tartım sonuçlarına ulaşılması sonrasında, ilk tartım ile son tartım arasındaki % cinsinden kayıp, kızdırma kaybı olarak hesaplanmıştır. Kızdırma kaybı değerleri elde edildikten sonra, deney tasarımında yer alan birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı kombinasyonlarına ulaşıldığı görülmüştür. İzlenen deney süreci sonucunda, elde edilen test sonuçları, Tablo 5.2'de paylaşılmıştır.

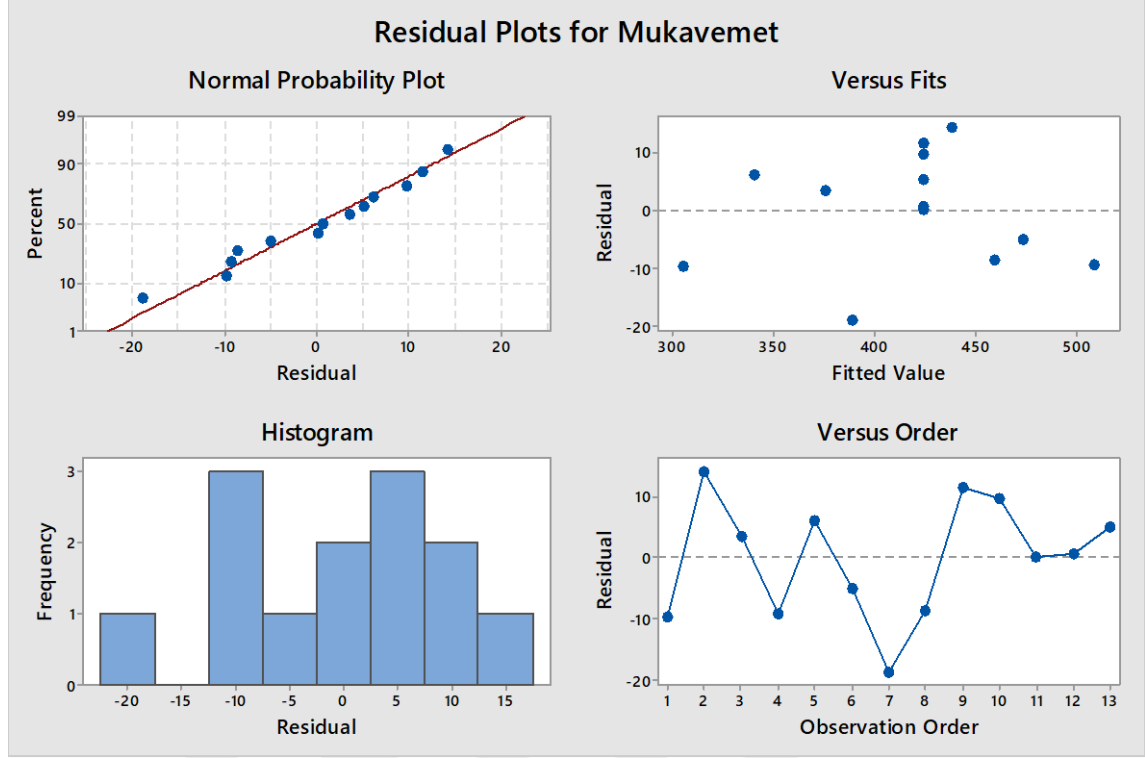
**Tablo 5.2:** Deney sonuçları

Birim Alan Ağırlığı (g)	Kızdırma Kaybı (%)	Mukavemet (N)
300	0,04	295,1
400	0,04	452,61
300	0,06	379,44
400	0,06	500,22
300	0,05	346,51
400	0,05	468,96
350	0,04	369,95
350	0,06	451,28
350	0,05	435,84
350	0,05	434,06
350	0,05	424,58
350	0,05	425,1
350	0,05	429,53

Deney tasarımında elde edilmesi hedeflenen birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı kombinasyonlarına ulaşılması ile analiz ve optimizasyon aşamasına geçilmiştir.

#### 5.4 Analiz ve Optimizasyon

Analiz aşamasında öncelikle verilerin analize uygunluğu kontrol edilmektedir. Bunun için kullanılan grafik, artık grafiğindeki 4 tür bölümdür. Bu grafiklerde; verilerin normalliği, bireysel *fit* değerlerinin artık değerlerinin dağılımı incelenmektedir. Deney tasarımı sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değerlerinin artık grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7: Artık grafiği

Şekil 5.7'deki artık grafiğinin sağ üst ve sol alt grafiklerinde homojen bir dağılım olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu grafik karmaşık ve çok fazla sayıda verinin analizinde daha çok önem kazanmaktadır. Deney tasarımındaki deney sayısının azlığından dolayı büyük veri havuzlarına göre daha toleranslıdır. Aynı zamanda sol üst grafikteki normalite eğrisinde, verilerin normalitesi kontrol edilmiştir. Şekil 5.7'deki grafikler, verinin analiz edilebilir ve sağlıklı veriler olduğunu gösterdiğinden analizine devam edilmiştir.

Tablo 5.2'de elde edilen deney sonuçlarına göre önce YYY ile istatistiksel analizler yapılmış ve devamında optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımından elde edilen Tablo 4.2'deki veriler için yüzey merkezli YYY ile elde edilen matematiksel model Eşitlik (5.2)'de verildiği gibidir.

$$Mukavemet = -1448 + 5,96x_2 + 20348x_1 - 0,00530x_2^2 - 103655x_1^2 - 18,36x_1x_2 \quad (5.2)$$

Eşitlik (5.2)'de verilen 2. dereceden regresyon denkleminde yer alan faktörlerin, yanıt değişkenini ne derecede açıklayabildiğini belirlemek üzere  $R^2$  (belirleme katsayısı) değeri



hesaplanmıştır. Minitab programı ile  $R^2$  değeri %98,61 olarak bulunmuştur. Bu değer, birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı faktörlerinin; çekme mukavemeti üzerindeki değişimin %98,61'ini açıkladığını ifade etmektedir. Kalan %1,39'luk değişim, modelde yer almayan faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Eşitlik (5.2)'de verilen matematiksel model için ANOVA analizi Minitab istatistiksel analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Modelde yer alan terimlerin anlamlılığı için "p-value" yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşımda matematiksel modelde yer alan terimlerin her biri için, terimin anlamsız olduğunu iddia eden  $H_0$  hipotezine karşılık, terimin anlamlı olduğunu iddia eden  $H_1$  hipotezi karşılaştırılmaktadır. %95 güven düzeyinde (yani %5 I. tip hata olasılığı) "p-value" değeri 0.05'ten büyükse  $H_0$  hipotezi kabul edilir ve ilgili matematiksel model parametresi güvenilir değildir sonucuna ulaşılır. Buna göre "p-value" sütunu altında yer alan değerlerden 0.05 (%5)'ten büyük olanlar için matematiksel model parametresi anlamsızdır. Anlamsız model parametreleri, matematiksel modellemeden çıkartılmalıdır. İlk etapta eleme yapılmadan elde edilen Minitab ANOVA raporu, Tablo 5.3'te verildiği gibidir.

**Tablo 5.3:** ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	5	35936,0	7187,2	99,26	0,000
Lineer Terimler	2	34346,8	1717304,0	237,17	0,000
Birim Alan Ağırlığı	1	26765,4	26765,4	369,64	0,000
Kızdırma Kaybı	1	7581,4	7581,4	104,70	0,000
Karesel Terimler	2	1251,9	626,0	8,64	0,013
Birim Alan Ağırlığı*Birim Alan Ağırlığı	1	484,6	484,6	6,69	0,036
Kızdırma Kaybı*Kızdırma Kaybı	1	296,7	296,7	4,10	0,083
İkili Etkileşimler	1	337,3	337,3	4,66	0,068
Birim Alan Ağırlığı*Kızdırma Kaybı	1	337,3	337,3	4,66	0,068
Hata	7	506,9	72,4		
Uyum Değerindeki Eksiklik	3	402,8	134,3	5,16	0,073
Net Hata	4	104,0	26,0		
Toplam	12	36442,9			

Burada model terimlerine ilişkin p değerleri incelendiğinde kızdırma kaybının karesi ve birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybının ikili etkileşiminde; 0,05 değerinden büyük olduğu

ve modelden çıkartılması gerektiği görülmüştür. Güvenilir olmayan bu kaynakların modelden çıkartılması ile Eşitlik (5.3) elde edilmiştir. Yapılan analize ilişkin Minitab raporu Tablo 5.4'te verilmiştir.

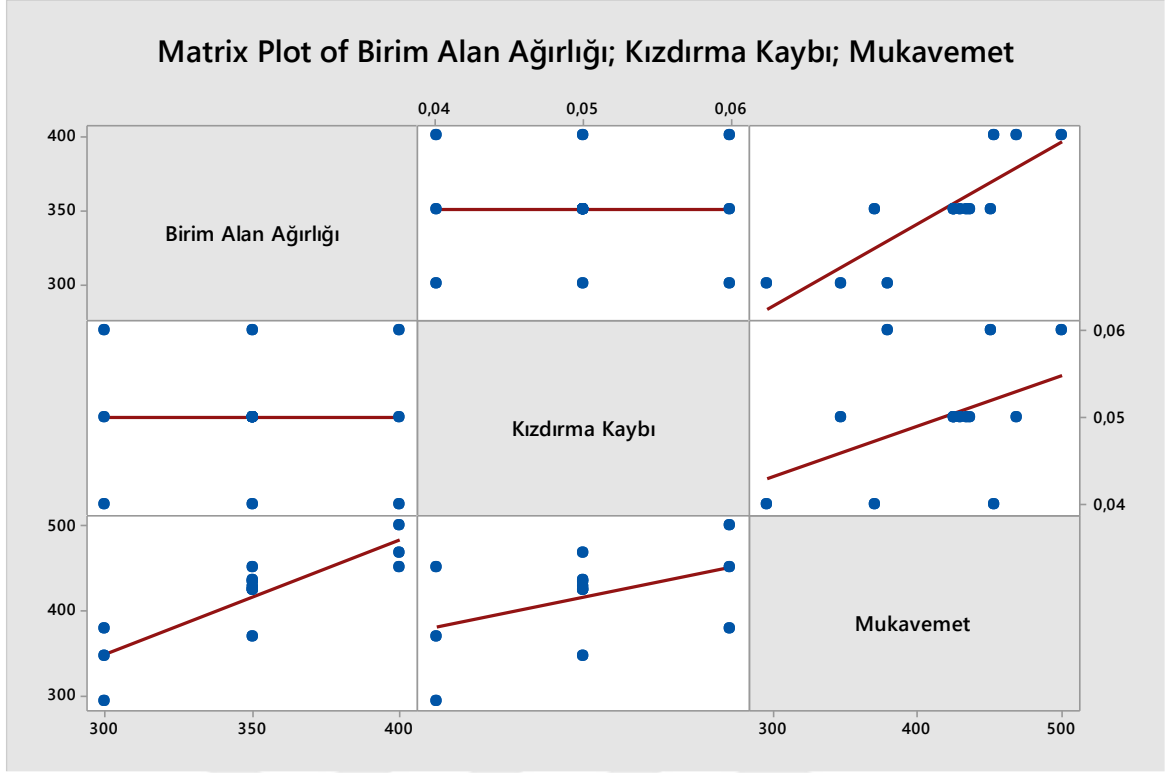
$$Mukavemet = -1063 + 6,15x_2 + 3555x_1 - 0,00688x_2^2 \quad (5.3)$$

**Tablo 5.4:** Düzenlenmiş ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Model	3	35302,0	11767,3	92,83	0,000
Lineer Terimler	2	34346,8	17173,4	135,47	0,000
Birim Alan Ağırlığı	1	26765,4	26765,4	211,14	0,000
Kızdırma Kaybı	1	7581,4	7581,4	59,81	0,000
Karesel Terimler	1	955,2	955,2	7,53	0,023
Birim Alan Ağırlığı*Birim Alan Ağırlığı	1	955,2	955,2	7,53	0,023
Hata	9	1140,9	126,8		
Uyum Değerindeki Eksiklik	5	1036,8	207,4	7,97	0,033
Net Hata	4	104,0	26,0		
Toplam	12	36442,9			

Tablo 5.4'te verilen Minitab raporuna göre; Eşitlik (5.3)'te  $R^2$  değeri %96,87 olarak hesaplanmıştır. Kalan %3,13'lük kısım modelde yer almayan diğer faktörlerden kaynaklanmaktadır. Elde edilen %96,87 değerinin %100'e yakın olması, matematiksel modellemede birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı faktörlerinin yeterli olduğunu ve deney tasarımında başka bir faktörün modele eklenmesine gerek olmadığını göstermektedir. Analiz safhası sonucunda; verileri analize uygun deney sonuçlarından, açıklama yüzdesi %96,87 olan ve Eşitlik (5.3)'te belirtilen matematiksel modele ulaşılmıştır ve bu modeli temsil eden grafiklerin analizine geçilmiştir.

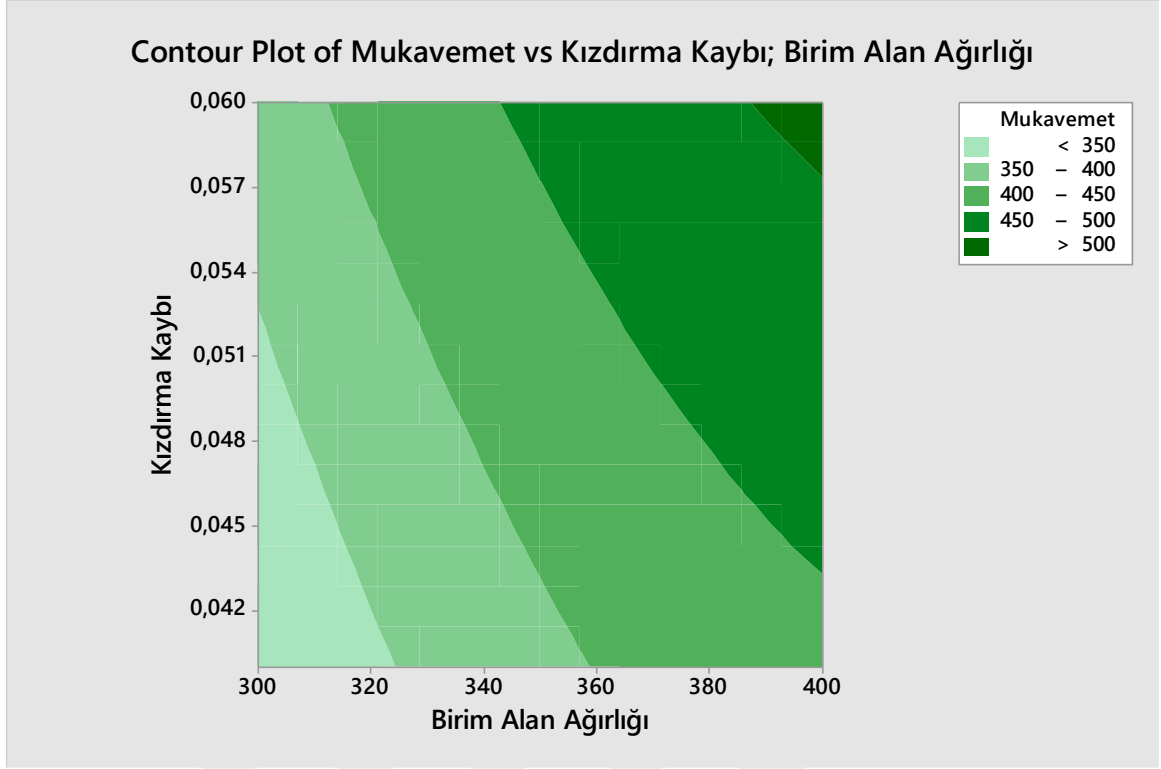
İlk olarak faktörler ve yanıt arasındaki etkileşim grafiği incelenmiştir. Etkileşim grafiklerinde faktörlerin kendi içindeki ve yanıt ile arasındaki ilişkinin doğrusal, kuadratik veya kübik etkileşimini göstermektedir. Deney tasarımı sonucu yapılan analize göre elde edilen etkileşim grafiği Şekil 5.8'de paylaşılmıştır.



**Şekil 5.8:** Etkileşim grafiği

Şekil 5.8'den de görüldüğü üzere, birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı faktörlerinin birbirleri arasında etkileşimi görülmezken her iki faktörün de yanıt üzerinde etkisi görülmektedir. Faktörlerin yanıt üzerinde lineer bir etkisi bulunmaktadır. Birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı arttıkça keçe cam elyafın çekme mukavemetinin arttığı grafikte gösterilmiştir. Grafiklerin açılırları incelendiğinde ise; tek olarak birim alan ağırlığı faktörünün çekme mukavemeti üzerindeki etkisinin, tek olarak kızdırma kaybı değerinin çekme mukavemeti üzerindeki etkisinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bir diğer analiz sonucu oluşan grafik kontur grafiğidir. Kontur grafikleri, 2 boyutlu bir düzlemde faktörlerin ikili etkileşimleri ile yanıt etkisini renklendirilmiş skala ile gösteren grafiklerdir. Analiz sonucunda oluşan kontur grafiği Şekil 5.9'da paylaşılmıştır.

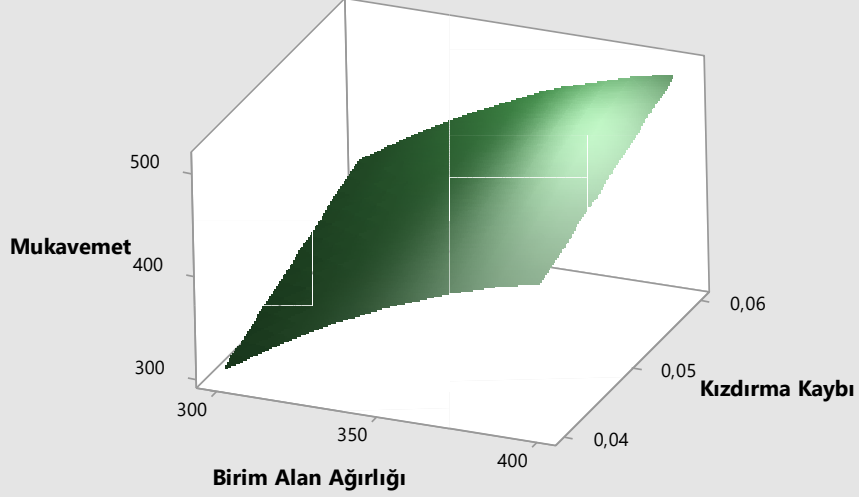


**Şekil 5.9:** Kontur grafiği

Şekil 5.9'daki grafiğin okunuşu birim alan ağırlığı ile kızdırma kaybı kombinasyonlarında ulaşılabilecek çekme mukavemeti değerlerinin renk skalasına göre ayrımı gösterilmektedir. Kızdırma kaybı değerinde ayırım çizgilerinin açıları daha küçükken, birim alan ağırlığı değerinde ayırım çizgilerinin daha geniş bir açığa sahip olduğu görülmektedir. Bu da birim alan ağırlığı faktörünün çekme mukavemet yanıtı üzerinde daha yüksek bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Son olarak deney tasarımı analizi sonucunda elde edilen son grafik yüzey grafiğidir. Yüzey grafiğinde; faktörler ve yanıtın etkileşimleri 3 boyutlu bir düzlem üzerinde simgelenmektedir. Faktörleri (-1; +1) aralığında bir doğru olarak düşünürsek yanıtın faktörlerin uç noktalara gittikçe nasıl cevap verdiğini 3 boyutlu düzlemde göstermektedir. Deney sonucunda ulaşılan yüzey grafiği, Şekil 5.10'da verilmiştir.

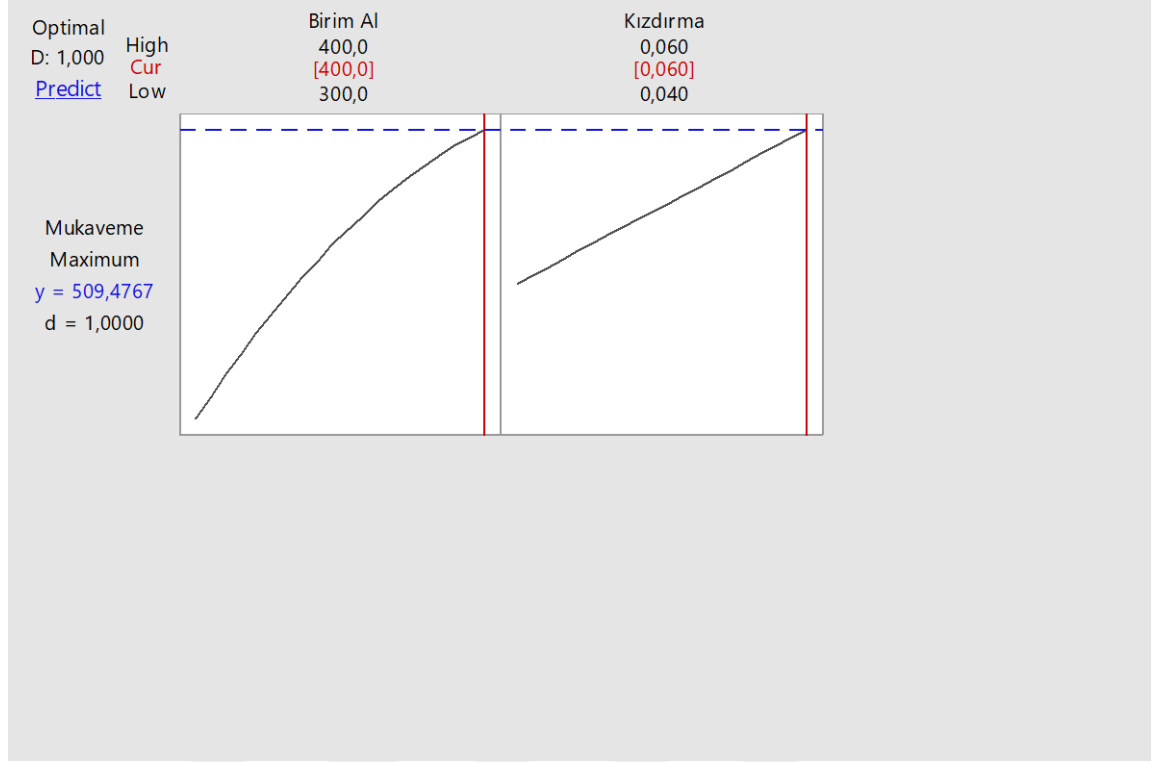
### Surface Plot of Mukavemet vs Kızdırma Kaybı; Birim Alan Ağırlığı



Şekil 5.10: Yüzey grafiği

Kontur grafiğinde olduğu gibi, Şekil 5.10'daki yüzey grafiğinde de birim alan ağırlığı eksenini ve kızdırma kaybı ekseninin (+1) ile simgelenen üst limitlerinde en yüksek çekme mukavemet yanıtı elde edildiği görülmektedir. Bir diğer deyişle, faktörlerin yanıt üzerindeki etkisi pozitif lineer ilişkide olduğu görülmektedir.

Analizler sonucunda,  $R^2$  değerinin yüksek olması ve ANOVA tablosuna göre matematiksel model parametrelerinin anlamlı olması göz önüne alınarak optimizasyon aşamasına geçilmiştir. Optimizasyon çalışmasında, Minitab "*Response Optimizer*" modülü kullanılarak yanıtın maksimizasyonu hedeflenmiştir. Optimizasyon safhası sonucunda elde edilen optimizasyon grafiği, Şekil 5.11'de paylaşılmıştır.



**Şekil 5.11:** Optimizasyon grafiği

Şekil 5.11'den optimum girdi değerleri; 400 g/m<sup>2</sup> seviyesinde birim alan ağırlığı ve %6 seviyesinde kızdırma kaybı ile çekme mukavemeti yanıtının 509,4767 N olarak maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Birim alan ağırlığı ile çekme mukavemeti arasında, grafiğin açısından görülebileceği gibi daha kuvvetli bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Kızdırma kaybı faktörünün yanıt ile, yine lineer bir ilişki içerdiği ancak birim alan ağırlığı faktörüne kıyasla daha düşük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Özetle, her iki faktörün de çekme mukavemeti yanıtı üzerinde pozitif lineer bir etki içerdiği optimizasyon grafiğinden de görülmektedir.

Optimizasyon safhasının bir sonucu da yanıt optimizasyonu Minitab raporudur. Bu rapor optimizasyonun hangi koşullarda çalışıldığını sunmaktadır. Yanıtın minimizasyonu, maksimizasyonu ya da optimizasyonu çalışılabilir. Bu raporda neyin hedeflendiğine yer verilmektedir. Aynı zamanda, optimizasyon çalışmalarında, bir faktörü belirli bir seviyede sabit tutarak veya hedeflenen bir aralıkta tutarak yanıtın optimizasyonunu çalıştırma imkânı bulunmaktadır. Bu rapor bu gibi optimizasyon koşullarını ve bu koşullara göre çalışılan optimizasyon sonucunu içermektedir. Yapılan optimizasyon çalışmasına ilişkin Minitab raporu Şekil 5.12'de paylaşılmıştır.

## Response Optimization: Mukavemet

### Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Mukavemet	Maximum	295,1	500,22		1	1

### Solution

Solution	Birim Alan Ağırlığı	Kızdırma Kaybı	Mukavemet Fit	Composite Desirability
1	400	0,06	509,477	1

### Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Birim Alan Ağırlığı	400
Kızdırma Kaybı	0,06

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Mukavemet	509,48	7,96	(491,47; 527,49)	(478,28; 540,67)

Şekil 5.12: Optimizasyona ilişkin Minitab raporu

Şekil 5.12'de verilen sonuçlar incelendiğinde modelleme, maksimum mukavemet elde edebilmek için 400 g seviyesinde birim alan ağırlığı ve %6 seviyesinde kızdırma kaybı ile çalışılmasını önermektedir. Optimizasyon sonucuna göre, bu faktör seviyeleri ile çalışılması halinde %95 güven aralığında çekme mukavemetin (491,47;527,49) N olacağı raporlanmaktadır. Burada modelleme; faktörler ve yanıtın arasında pozitif lineer ilişki olduğundan dolayı deney tasarımına girilen maksimum faktör seviyelerine ulaşmıştır. Farklı aralıklar girilerek istenilen sonuçlar elde edilebilmektedir.

### 5.5 Doğrulama Deneyleri ile Sonuç Değerlendirmesi

Deney sonuçlarına göre nominalde 350 g/m<sup>2</sup> keçe cam elyafın çekme mukavemetini maksimize edecek birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı değerlerinin sırası ile 400 g/m<sup>2</sup> ve %6 olduğu tespit edilmiştir. Bu faktör seviyeleri ile çekme mukavemet 509,477 N bulunmuştur. Aynı faktör seviyeleri ile 10 adet numune üretim hattında üretilmiştir ve numunelere uygulanan çekme mukavemeti test sonuçları Tablo 5.5'te paylaşılmıştır.

**Tablo 5.5:** Doğrulama deney sonuçları ve modelleme karşılaştırması

Numune Numarası	Deney Sonucu Çekme Mukavemet (N)	Gerçekleşen Üretim Çekme Mukavemet (N)	Mutlak Sapma (%)
1. numune	509,477	514,600	1,01
2. numune	509,477	520,440	2,15
3. numune	509,477	499,210	2,02
4. numune	509,477	521,280	2,32
5. numune	509,477	497,250	2,40
6. numune	509,477	495,340	2,77
7. numune	509,477	506,980	0,49
8. numune	509,477	503,520	1,17
9. numune	509,477	525,120	3,07
10. numune	509,477	522,730	2,60
Ortalama	509,477	510,647	2,00

Tablo 5.5'te paylaşılan değerlere göre, birim alan ağırlığı  $400 \text{ g/m}^2$  ve kızdırma kaybı %6 değerleri ile matematiksel modelden elde edilen 509,477 N çekme mukavemeti ve aynı faktör seviyeleri ile gerçekleşen üretimlerden elde edilen çekme mukavemet değerleri arasındaki mutlak sapma değeri, minimum %0,49, maksimum %3,07 ve ortalama %2 olarak hesaplanmıştır.

Üretimdeki geçmiş verilere göre aynı birim ağırlığında farklı kızdırma kaybı değerleri ile gözlemlenen çekme mukavemeti değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Geçmiş veri ortalaması, şirket gizliliği nedeni ile paylaşılmamaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen faktör seviyeleri ile çekme mukavemetinin %2 mutlak sapma ile 509,477 N seviyesine ulaşılmıştır ve bu sayede geçmiş veri ortalamasına göre iyileşme sağlandığı görülmüştür.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### Çalışmanın Özeti

Bu çalışmada, 350 g/m<sup>2</sup> keçe cam elyaf malzemesi için önem arz eden çekme mukavemeti karakteristiğine etki eden faktörler incelenmiştir.

Ürünün çekme mukavemeti üzerine etki eden faktörler; literatür taraması, kurumsal bilgi birikimi ve geçmiş kalite kontrol verilerinin regresyon analizine göre belirlenmiştir. Şirket gizliliği nedeni ile sonuçları paylaşamayan regresyon analizi sonucunda; birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı faktörleri seçilmiştir. Deney tasarımı metodu ile aynı ortam, üretim parametresi ve malzemeler ile yani dış değişkenleri sabitleyerek yalnızca ilgili faktörlerin çekme mukavemeti üzerindeki etkisini tespit etmek üzere çalışmaya başlanmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalarda keçe cam elyaf ürününün çekme mukavemeti üzerine çalışma yapılmadığı, daha çok elyaftan üretilen kompozit malzemelerin çekme, eğme mukavemeti gibi değerlerinin incelendiği görülmüştür. Hammadde olarak kullanılan keçe cam elyafın, son üreticideki prosese göre yüksek ya da düşük mukavemet gereklilikleri yaratmasından dolayı çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülerek incelemeler sürdürülmüştür.

Çalışmada numune ebatları 30x15 cm olarak çalışılmıştır. Birim alan ağırlığı, kızdırma kaybı ve çekme mukavemeti ölçümleri için ebatlar test standartlarında farklılık göstermektedir. Birebir aynı parçadan karşılaştırmanın yapılabilmesi için çekme mukavemeti test numune ölçüleri olan 30x15 cm ebadı baz alınarak numunelere sırası ile çekme mukavemeti, birim alan ağırlığı ve kızdırma kaybı testleri uygulanmıştır. Birim alan ağırlığı, 1 m<sup>2</sup>'deki keçe cam elyaf ağırlığını ifade etmektedir. Kızdırma kaybı ise, numunenin ilk ağırlığı ile yakıldıktan sonraki son ağırlığı arasındaki % farkını ifade etmektedir. Her iki faktör için de numune ebadının değişmesinin doğru sonuca ulaşılmasına engel teşkil etmemesinden dolayı, çekme mukavemeti testinin ebadı olan 30x15 cm baz alınmıştır.

Keçe cam elyafta sıvı ve toz bağlayıcı ürünler olabildiğinden ve bu durum sonuçlarda farklılık göstereceğinden tek ürün tipi seçilmesi sonuçların sağlıklı olması için önemlidir. Bu nedenle çalışma, sadece toz bağlayıcı keçe cam elyafını kapsamaktadır.

Keçe cam elyaf üretimi, birçok kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktör içerir. Kontrol edilemeyen faktörler arasında ölçülebilir olmayan etkenler de bulunmaktadır. Kontrol edilemeyen faktörlerin sabit tutulabilmesi için tüm numuneler T anında çıkan üründen alınarak oluşturulmuştur.

İncelemede, Minitab programı aracılığı ile yüzey merkezli yanıt yüzey yöntemi kullanılarak keçe cam elyafında çekme mukavemeti maksimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Deney tasarlanırken “Merkezi Tümlleşik Tasarım” (Central Composite Design) kullanılmıştır. Eksenel noktalar çözüm uzayı içinde kalacak şekilde “Yüzey Merkezli Tasarım” (Face Centered Design) kullanılmıştır. Deney tasarımında; faktörlerden birim alan ağırlığı 300-400 g/m<sup>2</sup> aralığında, kızdırma kaybı ise %4-6 aralığında çalışılmıştır.

Elde edilen matematiksel modelin terimlerinin anlamlılığını test etmek üzere ANOVA’dan yararlanılmıştır.  $\alpha=0,05$ ’ten büyük değere sahip terimler modelden çıkartılarak anlamlılık düzeyi arttırılmıştır. Burada birim alan ağırlığı hem lineer hem de karesel olarak modellemeye dahil olurken, kızdırma kaybı sadece lineer olarak modellemeye dahil olmuştur. Kızdırma kaybının karesi ve birim alan ağırlığı ile kızdırma kaybı ikili etkileşimi ise %95 güven düzeyinde kritik p-value değerinden ( $\alpha=0,05$ ) yüksek olduğundan dolayı modelden çıkarılmıştır.

### **Elde Edilen Sonuçlar**

Çalışma sonucunda hem birim alan ağırlığı hem de kızdırma kaybı faktörleri için deney tasarımındaki üst limitlerinde çekme mukavemeti karakteristiğinin maksimize edildiği görülmüştür. Bu değerler, deney tasarımındaki üst sınırlar olan birim alan ağırlığı için 400 g/m<sup>2</sup> ve kızdırma kaybı için %6’dır. Her iki faktörün yanıt üzerindeki etkisi, pozitif yönde doğru orantılı bulunmuştur. Birim alan ağırlığı faktörünün etkisi, kızdırma kaybı faktörüne göre daha etkin olarak tespit edilmiştir. Elde edilen faktör seviyeleri ile 509,477 N çekme mukavemeti yanıtı elde edilmiştir.

Çalışmada doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %2 mutlak sapma tespit edilmiştir. Doğrulama deneyleri ile, R<sup>2</sup> değeri %96,87 hesaplanmış olan matematiksel modelin yanıtı açıklama kabiliyeti doğrulanmıştır. Geçmiş verilerden elde edilen çekme mukavemeti değerleri şirket gizliliği nedeni ile paylaşılammakta olup çalışma

sonucunda elde edilen faktör seviyeleri ile yanıt üzerinde iyileşme görüldüğü tespit edilmiştir.

İmkanlara ve müşteri proses ihtiyaçlarına göre düşük kızdırma kaybı ya da düşük gramajla yüksek mukavemet talep edilebilir. Bu noktada, isteklere göre faktörlerden biri sabitlenerek hedeflenen çekme mukavemeti değerine ulaşmak için diğer faktörde olması gereken değer %95 güven aralığında hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma ile hammadde olarak kullanılan keçe cam elyafın kullanımı için müşteriler özelinde farklılık gösteren çekme mukavemeti değerlerine daha hızlı ulaşılması sağlanmıştır. Bu isteklere hızlı yanıt verebilmek için modeldeki sabit herhangi bir faktöre karşılık hedeflenen çekme mukavemeti değerine ulaşabilmek amacıyla diğer faktörün hangi seviyede olması gerektiğini gösteren teknik bir formülasyona ulaşıldığından dolayı, deneme sayısı azalacağı için maliyet kazancı sağlayacaktır. Aynı zamanda müşteri isteklerine hızlı yanıt verebilme imkanı ile müşteri memnuniyetinde artış sağlanacaktır.

### **Sonraki Çalışmalar için Öneriler**

Keçe cam elyafında, split teksleri yani her bir filamentin gramajı konusunda tek tip demetler kullanılmıştır. Pazar ihtiyacına göre daha ince split teks ile üretim yapılmaya başlanmıştır. Split teks değeri, uçlara ayrılan demetlerin her bir uç için 1 km'deki toplam ağırlığına tekabül etmektedir. Demetler kırıldıktan sonra kırılmış olan elyafın her bir tanesi için ağırlığı etkilenir. Bu çalışmadan sonra, seçili faktörlere ek olarak split teks dahil edilerek çalışma zenginleştirilebilir. Aynı zamanda sıvı ve toz bağlayıcı içerikli ürünler için aynı birim alan ağırlığı ve aynı kızdırma kaybı ile nitel veri incelemesi yapılarak bağlayıcı türünün çekme mukavemeti üzerine etkisi incelenebilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Abdalrahman, R. M. (2023). Optimized strength of chopped strand mat glass fiber-reinforced polyester laminates with single-edge notch under the effect of notch shape/size and strain rate. *The Indian Institute of Metals*, 76(10), 2857-2864, doi.org/10.1007/s12666.023.02979.1.
- Bağcı, M. (2010). *Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 276337).
- Bryne, D. M. and Taguchi, S. (1986). The Taguchi approach to parameter design. *ASQC Quality Congress Transactions*, Anaheim.
- Bulut, P. ve Özer, A. Y. (1991). Bir deney planlama yöntemi: faktöriyel tasarım. *Farmasötik Bilimler Dergisi*, 16, 89-97.
- Chang, S. H., Hwang, J. R. and Doong, J. L. (2000). Optimization of the injection molding process of short glass fiber reinforced polycarbonate composites using grey relational analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 97, 186-193.
- Chauhan, S., Kumar, A. and Patnaik, A. (2009). Mechanical and wear characterization of GF reinforced vinyl ester resin composites with different co-monomers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(21), 2675-2684, doi.org/10.1177/0731684408093823.
- Çakır, M. ve Berberoğlu B. (2018). E-cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin elyaf oranındaki artış ile mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 734-740.
- Daban, Y. (2016). *Kompozit plakalarda farklı tabaka sayısı, farklı yapı ve istifleme sırasına bağlı optimum mekanik özelliklerin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 432240).
- Demir, L. (2004). *İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 154563).
- Erdoğan, F. (2007). Yükseltmiş d-optimal dizayn yöntemi kullanılarak mühendislik dizaynlarında etkinliğin geliştirilmesi: sentetik jet dizayn optimizasyon çalışması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3(1), 51-61. Erişim adresi: <http://search.trdizin.gov.tr/>

- Ergül, U.E., Gezeğin, C. ve Yıldız, A. (2018). Yanıt yüzey yöntemi ve genetik algoritma kullanılarak transformatör sargı en sıcak nokta sıcaklığının modellenmesi ve optimizasyonu. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 467-480, doi.org/10.24012/dumf.422182.
- Fung, C. P. And Kang, P. C. (2003). Multi-response optimization in friction properties of PBT composites using Taguchi method and principal component analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 170(2005), 602-610, doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.06.040.
- Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Mata, F. and Davim, J. P. (2008). Taguchi approach for achieving better machinability in unreinforced and reinforced polyamides. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol 27(9), 909-924, doi.org/10.1177/0731684407085875.
- Genç, Ç. (2006). *Cam elyaf takviyeli plastiklerin üretim yöntemlerinin deneysel karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 197858).
- Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2003). Taguchi metodu: bir uygulama. *Teknoloji*, 6(3-4), 7-17. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/>
- Hu, J., Zhang, J., Han, R. and Yang, Y. (2022). Correlation between glass fiber suspension characteristics and physical of glass fiber felt: role of beating time and speed. *Journal of Industrial Textiles*, 51(1), 1528-1541, doi.org/ 10.1177/15280837221076575.
- Iliyasu, İ., Bello, J. B., Dibal, M. N., Oyedeji, O. N., Salami, K. A. and Oyedeji, E. O. (2022). Response surface methodology for the optimization of the effect of fibre parameters on the physical and mechanical properties of deleb palm fibre reinforced epoxy composites. *Scientific African*, 16(2022), doi.org/10.1016/j.sciaf. 2022.e01269.
- İlhan, R. ve Feyzulloğlu, E. (2019). Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 355-381, doi.org/ 10.31202/ecjse.519072.
- Karakoç, Ö. (2006). *Deneylerin faktöriyel tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.185174).
- Kumar, D. S., Sathish, T., Rangappa, S. M., Boonyasopon, P. and Siengchin, S. (2022). Mechanical property analysis of nanocarbon particles/glass fiber reinforced hybrid epoxy composites using RSM. *Composites Communications*, 32(2022), doi.org/10.1016/j.coco.2022.101147.

- Kuo, C. J., Huang, C. C., Su, T. L., Lin, M. Y. and Lan W. Y. (2014). Optimization process parameters of multiple quality characteristics for polyoxymethylene/glass fiber composite material. *Fiber and Polymers*, 15(12), 2597-2606, doi.org/10.1007/s12221-014-2597-2.
- Lin, S. S., Lin J. C. and Yang Y. K. (2010). Optimization of mechanical characteristics of short glass fiber and polytetrafluoroethylene reinforced polycarbonate composites via d-optimal mixture design. *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 49(2), 195-203, doi.org/10.1080/03602550903284297.
- Montgomery, D. C. (2008). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C. ve Anderson-Cook, C. M., (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, Inc.
- Nadondu, B., Surin, P. and Deeying, J. (2022). Multi-objective optimization on mechanical properties of glass-carbon and durian skin fiber reinforced poly (lactic acid) hybrid composites using the extreme mixture design response surface methodology. *Case Studies in Construction Materials*, 17 (2022), doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01675.
- Okudan, G.E. (1995). *Deneysel tasarımın Taguchi yöntemleri ile karşılaştırılması ve uygulamalar* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.41799).
- Özden, E. (2020). *Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarımı yöntemleri ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.636096).
- Öztürk, R., Taş, H. ve Soykok, İ.F. (2023). Determinating optimum combination of aging and manufacturing parameters for laminated composites using response surface methodology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 0(0), 1-21, doi.org/10.1177/07316844231219314.
- Taşgetiren, S. ve Gökçe, B. (2009). Kalite için deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 71-83. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/>
- TS 9163. (2006). *Cam elyaf tekstil mamulleri-fitiller-deney parçalarının hazırlanması ve emprenye edilmiş fitillerin çekme mukavemetinin tayini*, Ankara.
- Türkmen, İ. ve Köksal, N. S. (2013). Cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde (CTP) elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe

- dayanımının incelenmesi. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 17-30. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/>
- Ünal, R. and Dean, E.B. (1991). Taguchi approach to design optimization for quality and cost: an overview. *Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts*.
- Vural, A. (2007). *Aykırı değerlerin regresyon modellerine etkileri ve sağlam kestiriciler* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.221866).
- Yadav, R., Lee, H., Meena, A. and Sharma, Y. K. (2022). Effect of alumina particulate and e-glass fiber reinforced epoxy composite on erosion wear behavior using Taguchi orthogonal array. *Tribology International*, 175 (2022), doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107860.
- Yaldız, B. (2018). *Cam elyaf katkısının geri dönüştürülmüş poliamid 6.6 plastiğinin mekanik özelliklerine etkisinin deneysel incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.511852).
- Yazıcı, M. (2017). *Kendinden takviyeli polipropilen esaslı termoplastik kompozit levhalarda delik etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.470608).
- Yoğurtçu, H. (2019). Optimization of microwave apple drying using response surface method. *Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1365-1376, doi.org/10.17341/gazimmfd.460532.
- Yoldaş, M. H. (2023). *Deniz araçlarında kullanılan cam elyaf (GFRP) ve karbon elyaf (CFRP) takviyeli kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonlarının deneysel incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.791104).
- Youssef, A. H., Madhuranthakam, C. M., Elkamel, A. and Mittal, V. (2015). Optimizing mechanical properties of injection-molded long fiber-reinforced polypropylene. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28(6), 849-862, doi.org/10.1177/0892705714533371.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Didem Kök  
Doğum tarihi ve yeri :  
e-posta :

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2021-2024
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2007-2012
Lise	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2003-2007

### Yayın Listesi

Kök, D., Karaoğlan, A.D. (2024). Optimization of tensile strength via mat glass fiber characteristics by using response surface methodology, *4.Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi (ICENSS2024)*, pp. 126, Mayıs 24-25, Ankara, Türkiye. (Özet Sunum)