

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



**POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN TAGUCHİ METODU İLE  
OPTİMİZASYONU**

**Taha ERKUŞ**

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yapı Bilim Dalı

ŞUBAT 2021

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

# **POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN TAGUCHİ METODU İLE OPTİMİZASYONU**

Tez Yazarı  
**Taha ERKUŞ**

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñç ARICI

ŞUBAT 2021  
ELAZIĞ

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

**Yüksek Lisans Tezi**

---

Başlığı: Polipropilen Lifli Betonların Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

Yazarı: Taha ERKUŞ

İlk Teslim Tarihi: 31.12.2020

Savunma Tarihi: 1.2.2021

---

**TEZ ONAYI**

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

|           |                                                                       |                          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Danışman: | Dr. Öğr. Üyesi Erdinç ARICI<br>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi | <i>İmza</i><br>Onayladım |
| Başkan:   | Prof. Dr.Oğuzhan KELEŞTEMUR<br>Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi | Onayladım                |
| Üye:      | Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU<br>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi   | Onayladım                |

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun ...../...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

*İmza*  
Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ  
Enstitü Müdürü

## BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “ Polipropilen Lifli Betonların Taguchi Metodu ile Optimizasyonu ” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

1/2/2021

**Taha ERKUŞ**



# ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasında tüm yoğunluğuna rağmen bilgisini, tecrübesini ve yardımını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdinç ARICI' ya öncelikle gönülden teşekkür ederim.

Kendilerinden ders alarak yeni bilgiler edindiğim değerli hocalarım Prof. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR ve Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını benden esirgemeyen abim Yunus ERKUŞ'a ve yapı laboratuvarı teknisyeni Mehmet TEMİZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Malzeme temininde yardımcı olan Sika Yapı Kimyasalları firmasının yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, FÜBAP Başkanlığı tarafından TEKF.19.19 numaralı proje ile desteklenmiştir.

**Taha ERKUŞ**  
ELAZIĞ, 2021

# İÇİNDEKİLER

|                                                                    | Sayfa     |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                         | iv        |
| İÇİNDEKİLER.....                                                   | v         |
| ÖZET .....                                                         | vii       |
| ABSTRACT.....                                                      | viii      |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                              | ix        |
| TABLolar LİSTESİ.....                                              | xi        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                       | xii       |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                               | <b>1</b>  |
| <b>2. LİTERATÜR ÖZETİ.....</b>                                     | <b>3</b>  |
| 2.1. Beton .....                                                   | 3         |
| 2.1.1. Çimento .....                                               | 3         |
| 2.1.2. Agregası .....                                              | 4         |
| 2.1.3. Su .....                                                    | 5         |
| 2.1.4. Katkı Maddeleri.....                                        | 5         |
| 2.2. Lİfler.....                                                   | 6         |
| 2.3. Polİpropİlen Lİfler.....                                      | 7         |
| 2.4. Polİpropİlen Lİfli Betonlar Hakkında Yapılan Çalışmalar ..... | 9         |
| 2.5. Taguchi Metodu .....                                          | 12        |
| 2.5.1. Ürün Ve Süreç Performansını Etkİleyen Faktörler .....       | 13        |
| 2.5.2. Testlerin Yapılması .....                                   | 14        |
| 2.5.3. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları .....                   | 14        |
| 2.5.4. Uygun Ortogonal DİZİNİN Seçİlmesi.....                      | 15        |
| 2.5.5. Sonuçları Analiz Etme.....                                  | 16        |
| 2.5.6. Doğrulama Deneylerinin Yapılması .....                      | 16        |
| 2.5.7. Taguchi Metoduyla Yapılan Çalışmalar .....                  | 17        |
| <b>3. DENEYSEL ÇALIşMALAR.....</b>                                 | <b>18</b> |
| 3.1. Kullanılan Malzeme Ve Özellikleri.....                        | 19        |
| 3.1.1. Agregası Özellikleri .....                                  | 19        |
| 3.1.2. Çimento Özellikleri .....                                   | 21        |
| 3.1.3. Karışım Suyu Özellikleri .....                              | 22        |
| 3.1.4. Kimyasal Katkı Özellikleri .....                            | 22        |
| 3.1.5. Polİpropİlen Lİf Özellikleri .....                          | 23        |
| 3.2. Beton Üretimi Ve Karışım Oranları .....                       | 23        |
| 3.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler.....                             | 24        |
| 3.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi .....                                | 24        |
| 3.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi .....                         | 25        |
| 3.3.3. Ultrases Geçiş Süresi Deneyi .....                          | 26        |
| 3.3.4. Su Emme Deneyi.....                                         | 27        |
| 3.3.5. SEM Analizi.....                                            | 28        |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIşMALARIN SONUÇLARI .....</b>                    | <b>29</b> |
| 4.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....                          | 29        |
| 4.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları .....                  | 35        |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 4.3. Ultrases Geçiş Süresi Deney Sonuçları ..... | 41        |
| 4.4. Su Emme Deney Sonuçları .....               | 45        |
| <b>5. SONUÇLAR.....</b>                          | <b>51</b> |
| ÖNERİLER.....                                    | 52        |
| KAYNAKLAR .....                                  | 53        |
| ÖZGEÇMİŞ                                         |           |



# ÖZET

---

## Polipropilen Lifli Betonların Taguchi Metodu ile Optimizasyonu

**Taha ERKUŞ**

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Şubat 2021, Sayfa: xii + 55

---

Beton uzun yıllardan beri inşaat alanında en fazla rağbet gören yapı malzemesidir. Betonun özelliklerini geliştirmek için çeşitli katkı maddeleri ve ilave malzemeler kullanılmaktadır. Bu ilave malzemelerden en çok kullanılanlardan biri de liftir. Bu tez çalışmasında da lif olarak polipropilen lif seçilmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler yardımıyla optimizasyon yapılarak kullanılabilir optimum polipropilen lif miktarı belirlenmiştir. Çalışmada çimento dozajı 350,400 ve 450 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir. Ayrıca 0.45, 0.5 ve 0.55 olmak üzere üç farklı su/çimento oranı kullanılmıştır. Hazırlanan bu karışımlara toplam hacmin %0.03, %0.05, %0.1, %0.2 ve %0.4 oranlarında beş farklı polipropilen lif (12 mm) eklenmiştir. Betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirleyebilmek amacıyla; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak Taguchi metodu yardımıyla optimum parametre seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca varyans analizi yapılarak deney sonuçlarına parametrelerin etkisi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, Polipropilen Lif, Taguchi Metodu, Basınç dayanımı

## ABSTRACT

---

### Optimization of Polypropylene Fiber Concretes with Taguchi Method

**Taha ERKUŞ**

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Technologies

February 2021, Pages: xii + 55

---

Concrete has been the most popular building material in the field of construction for many years. Various additives and additional materials are used to improve the properties of concrete. One of the most used of these additional materials is fiber. In this thesis, polypropylene fiber was chosen as fiber. With the help of the data obtained in this study, the optimum amount of polypropylene fiber to be used was determined by optimization. In the study, cement dosage was selected as 350,400 and 450 kg / m<sup>3</sup>. In addition, three different water / cement ratios were used as 0.45, 0.5 and 0.55. Five different polypropylene fibers (12 mm) were added to these mixtures in the ratios of 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2% and 0.4% of the total volume. In order to determine the mechanical and physical properties of concrete; Compressive strength, splitting tensile strength, ultrasound velocity and water absorption tests were carried out. Using the experimental data obtained, optimum parameter levels were determined with the help of Taguchi method. In addition, the effect of the parameters on the experimental results was determined by analyzing variance.

**Keywords:** Concrete, Polypropylene Fiber, Taguchi Method, Compressive strength.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                 | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Agregat örneği (URL-1, 2020).....                                                    | 5     |
| Şekil 2.2. Lif örnekleri (URL-2, 2020).....                                                     | 7     |
| Şekil 2.3. Polipropilen lif örnekleri (URL-3, 2020).....                                        | 8     |
| Şekil 3.1. Kullanılan agregalar .....                                                           | 20    |
| Şekil 3.2. Deney agregaların granülometri eğrileri.....                                         | 21    |
| Şekil 3.3. Kullanılan kimyasal katkı .....                                                      | 22    |
| Şekil 3.4. Kullanılan polipropilen lif .....                                                    | 23    |
| Şekil 3.5. Basınç cihazı.....                                                                   | 25    |
| Şekil 3.6. Yarmada çekme cihazı .....                                                           | 26    |
| Şekil 3.7. UPV cihazı .....                                                                     | 27    |
| Şekil 3.8. SEM cihazı .....                                                                     | 28    |
| Şekil 4.1. Kürden çıkarılan numuneler .....                                                     | 29    |
| Şekil 4.2. Çalışmada uygulanan deneyler .....                                                   | 29    |
| Şekil 4.3. Parametre seviyelerine göre basınç dayanımında S/N oranları .....                    | 31    |
| Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre basınç dayanım değerleri.....                            | 31    |
| Şekil 4.5. Deney parametrelerinin basınç dayanım değerine etki oranları .....                   | 32    |
| Şekil 4.6. Dozaj ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim.....             | 33    |
| Şekil 4.7. S/Ç oranı ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim .....        | 33    |
| Şekil 4.8. $D_{max}$ ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim.....         | 34    |
| Şekil 4.9. Polipropilen lif katkılı beton numunelerin SEM görüntüsü .....                       | 34    |
| Şekil 4.10. Parametre seviyelerine göre yarmada çekme dayanımında S/N oranları .....            | 37    |
| Şekil 4.11. Parametre seviyelerine göre yarmada çekme dayanım değerleri.....                    | 37    |
| Şekil 4.12. Deney parametrelerinin yarmada çekme dayanım değerine etki oranları .....           | 38    |
| Şekil 4.13. Polipropilen lif ve s/ç oranına göre yarmada çekme dayanımındaki değişim .....      | 39    |
| Şekil 4.14. $D_{max}$ ve polipropilen lif oranına göre yarmada çekme dayanımındaki değişim..... | 39    |
| Şekil 4.15. Polipropilen lif oranı ve dozaja göre yarmada çekme dayanımındaki değişim .....     | 40    |
| Şekil 4.16. Parametre seviyelerine göre UPV’ deki S/N oranları .....                            | 42    |
| Şekil 4.17. Parametre seviyelerine göre UPV değerleri .....                                     | 42    |
| Şekil 4.18. Deney parametrelerinin UPV değerine etki oranları .....                             | 43    |
| Şekil 4.19. Polipropilen lif oranı ve $D_{max}$ ’a göre UPV değerindeki değişim .....           | 44    |
| Şekil 4.20. Polipropilen lif oranı ve dozaja göre UPV değerindeki değişim .....                 | 44    |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.21.</b> Polipropilen lif oranı ve s/ç oranına göre UPV değerindeki değişim .....    | 45 |
| <b>Şekil 4.22.</b> Parametre seviyelerine göre su emmede S/N oranları .....                    | 47 |
| <b>Şekil 4.23.</b> Parametre seviyelerine göre su emme değerleri .....                         | 47 |
| <b>Şekil 4.24.</b> Deney parametrelerinin su emme değerine etki oranları .....                 | 48 |
| <b>Şekil 4.25.</b> $D_{max}$ ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim ..... | 49 |
| <b>Şekil 4.26.</b> Dozaj ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim .....     | 49 |
| <b>Şekil 4.27.</b> S/Ç ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim.....        | 50 |



## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Tablo 2.1.</b> L <sub>9</sub> tasarım matrisi (Peace, 1992). ....                                           | 16    |
| <b>Tablo 3.1.</b> Deney parametreleri ve seviyeleri .....                                                      | 18    |
| <b>Tablo 3.2.</b> L <sub>18</sub> ortogonal dizini .....                                                       | 19    |
| <b>Tablo 3.3.</b> Agrega özellikleri .....                                                                     | 20    |
| <b>Tablo 3.4.</b> Agrega granülometri değerleri.....                                                           | 20    |
| <b>Tablo 3.5.</b> Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri .....                                            | 21    |
| <b>Tablo 3.6.</b> Süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri .....                                            | 22    |
| <b>Tablo 3.7.</b> Polipropilen lifin teknik özellikleri.....                                                   | 23    |
| <b>Tablo 3.8.</b> L <sub>18</sub> ortogonal dizisindeki serilerin 1m <sup>3</sup> için karışım miktarları..... | 24    |
| <b>Tablo 3.9.</b> Ses geçiş hızı ile betonun kalitesi arasındaki ilişki .....                                  | 27    |
| <b>Tablo 4.1.</b> Basınç dayanımı S/N oranları.....                                                            | 30    |
| <b>Tablo 4.2.</b> Basınç dayanımı varyans analiz sonuçları.....                                                | 32    |
| <b>Tablo 4.3.</b> Basınç dayanımı analizi ve doğrulama deney sonuçları.....                                    | 35    |
| <b>Tablo 4.4.</b> Yarmada çekme dayanımı S/N oranları .....                                                    | 36    |
| <b>Tablo 4.5.</b> Yarmada çekme dayanımı varyans analiz sonuçları .....                                        | 38    |
| <b>Tablo 4.6.</b> Yarmada çekme dayanımı analizi ve doğrulama deney sonuçları .....                            | 40    |
| <b>Tablo 4.7.</b> UPV S/N oranları .....                                                                       | 41    |
| <b>Tablo 4.8.</b> UPV varyans analiz sonuçları .....                                                           | 43    |
| <b>Tablo 4.9.</b> UPV değeri analizi ve doğrulama deney sonuçları .....                                        | 45    |
| <b>Tablo 4.10.</b> Su emme S/N oranları .....                                                                  | 46    |
| <b>Tablo 4.11.</b> Su emme varyans analiz sonuçları .....                                                      | 48    |
| <b>Tablo 4.12.</b> Su emme oranı analizi ve doğrulama deney sonuçları .....                                    | 50    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

---

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| $^{\circ}\text{C}$ | : Santigrat derece                                   |
| a                  | : Faktörlerin düzey sayısı                           |
| $A_c$              | : Numunelerin basınç yükünün uygulandığı kesit alanı |
| d                  | : Toplam deney sayı                                  |
| F                  | : Kırılma anında ulaşılan max yük                    |
| $F_c$              | : Basınç dayanımı                                    |
| k                  | : Faktör sayısı                                      |
| $\text{Kg/m}^3$    | : Kilogram/metre küp                                 |
| l                  | : Küpün bir ayrıtının uzunluğu                       |
| L                  | : Ortogonal diziyi                                   |
| MPa                | : Megapaskal                                         |
| P                  | : Yük                                                |
| S                  | : Alıcı ve verici başlık arasındaki mesafeyi         |
| t                  | : Ultrases aleti üzerinde okunan değer               |
| V                  | : Ses dalga hızı                                     |
| $W_0$              | : Ettüv kurusu ağırlık                               |
| $W_1$              | : Suyu doymuş ağırlık                                |
| $W_w$              | : Su emme miktarı                                    |
| $\sigma_{\varphi}$ | : Yarmada çekme dayanımı                             |

### Kısaltmalar

---

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| ASTM     | : Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu |
| EN       | : Avrupa Normları                                      |
| P.P. Lif | : Polipropilen Lif                                     |
| S/Ç      | : Su / çimento oranı                                   |
| S/N      | : Sinyal / gürültü oranı                               |
| T.S.     | : Türk Standartları                                    |
| UV ışın  | : Ultraviyole ışın                                     |

# 1. GİRİŞ

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Beton kolay işlenebilirliği, düşük maliyeti ve kolay bulunabilmesi ile günümüzün en sık kullanılan yapı malzemesidir. İnşaat alanında en çok kullanılan yapı malzemesi olduğundan dolayı mekanik ve fiziksel özelliklerinin kapsamlı incelenmesi gerekmektedir. Değişen ve gelişen dünyamızda insan ihtiyaçlarını karşılamak için betona belirli ölçülerde katkılar katılarak betonun özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Bilindiği gibi beton, heterojen bir içyapıya sahip olup, bu nedenle kırılma süreci oldukça karmaşık ve düzensizdir. Fakat bu karmaşık süreç incelendiğinde, betonun kırılmasına neden olan potansiyel çatlakların, kritik bağın olduğu agrega-çimento ara yüzeyinde oluşan mikro çatlaklar olduğu anlaşılmaktadır. Betonun heterojen yapısı, bu çatlakların oluşmasına neden olan gerilmelerin düzgün bir şekilde iletilmemesine neden olur ve bağ özelliği zayıf olan bölgelerde taşıma gücünü aşarak ani çökmeler meydana gelir. Süneklik başta olmak üzere diğer mühendislik özelliklerini iyileştirerek bu ani çökmelerin önlenmesinde betona elyaf ilave etme yöntemi etkili ve yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Bayrak, 2018).

İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Çimento, agrega ve çoğunlukla süresiz liflerin su ile karıştırılmasıyla meydana gelen betona lifli beton denir. Beton içerisinde en fazla kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, tüm lif türlerinde sağlanması gereken en önemli özellik, liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve beton karıştırıldıktan sonra bu dağılımın bozulmamasıdır. Homojen olarak dağılmış liflerin betondaki çatlakları önlediği ve betondaki çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı özellikle elyaf, betonun çekme ve eğilme mukavemetini arttırdığı görülmüştür

(Gümüştaş, 2010).

Polipropilen malzeme olarak termoplastiklere dâhil edilen çok hafif bir polimerdir. Teknik olarak nasıl elde edildiğine bakarsak, saf propilen gazının bir katalizör kullanılarak basınç altında polimerize edilmesiyle oluştuğu söylenebilir. Böylece bir dizi kimyasal reaksiyon sonucunda bir monomerden bir polimer elde edilir. Elde edilen bu malzeme, günlük hayatta kullanılan plastiklerin neredeyse yarısının hammaddesini oluşturmaktadır. Bu açıdan oldukça dayanıklı ve kaliteli olan polipropilenin polietilene göre imalatı daha ucuz olan bir plastik olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca bilimsel çalışmalarda ve günlük hayatta kullandığımız ürünlerde polietilenin yerini polipropilenin almaya başladığı söylenebilir.

Polipropilen, dayanıklılık ve elastiklik beklenen birçok ürünün üretiminde hammadde olarak kullanılmasının yanı sıra, çeşitli şekil ve oranlarda diğer malzemelere ilave edilerek kullanılmaktadır. Malzemeye, inşaat mühendisliği ve uygulamaları açısından bakıldığında hem polipropilen ürünler olarak hem de genel mühendislik malzemeleriyle birlikte kullanılarak geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. Beton

Son yıllarda inşaat teknolojisinin vazgeçilmez parçası olan beton, dünyanın en eski yapı malzemelerinden biridir. Beton ilk kez 5000 yıl önce Mısır Piramitlerinde kullanılmış ve günümüzde de en fazla kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Kullanımının bu kadar eski olmasına rağmen geliştirilmeye çok açık bir malzemedir (Gaimster ve Dixon, 2003).

Beton, agrega, bağlayıcı madde ve su ile birleştirilmesinden meydana gelen yapı malzemesidir. Bağlayıcı madde de çoğu zaman çimentodur. Beton uzun zamandır özellikle ülkemizde en fazla kullanılan yapı malzemesidir. Ekonomik, dayanımı yüksek ve uzun süre kullanılabilirlik özellikleri sayesinde diğer yapı malzemelerinden daha çok tercih edilir. Günümüzde başta çok katlı yapılar olmak üzere baraj, su yapıları, tünel, köprü gibi çeşitli yapılarda ana malzeme olarak kullanılmaktadır (Alkan, 2004).

Betonun çok yaygın olarak kullanılmasının en önemli nedenleri; ekonomik olması, kolay şekil verilebilmesi, dayanıklı olması ve daha düşük enerji ile üretilebilmesidir. Betona istenilen şeklin verilmesi; betonun taze haldeyken plastik kıvamda olmasıyla sağlanır. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin büyük çoğunluğu yerel malzemelerdir. Bu durum betonun diğer yapı malzemelerine göre maliyetinin az olmasındaki en önemli nedenlerden biridir. Beton düzgün bir biçimde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış ise uzun yıllar hiçbir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür (Gaimster ve Dixon, 2003).

Beton genel olarak agrega, bağlayıcı görevi üstlenen çimento ve suyun karıştırılmasıyla oluşur. Bu yapıda, ince ve iri agregayı birbirine bağlayan çimento su birleşimiyle oluşan hamurdur. İnce agrega ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak dayanımı artırır. İri agrega betonun bir nevi iskeletidir ve betonun maruz kaldığı kuvvetlere karşı direnç gösterir. Son yıllarda betonda kimyasal ve mineral katkıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton toplam hacim olarak %70-75 agrega, %10 çimento, %15 su ve %1,5-2 civarında havadan oluşur. Gerektiğinde, beton karışımına belli oranlarda katkı maddesi de eklenebilir (Gaimster ve Dixon, 2003; ACI 544. IR- 96, 1996).

#### 2.1.1. Çimento

Doğal kalker taşı ve kilin belirli oranlarda karıştırılıp döner fırında pişirildikten sonra ortaya çıkan klinkerin, alçı taşı ve diğer katkılarla karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki hidrolik bağlayıcıya çimento denir.

Çimentonun yapışma özelliklerini yerine getirmesi için su gerekir. Çimento, birçok beton karışımında minimum hacmi kaplayan bileşendir; ancak betonun oluşabilmesi için vazgeçilmezdir (Gündeşli, 2008).

Çimentonun betondaki görevi; agregaların yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşluğu doldurarak bağlayıcı madde görevi görmektir (Gaimster ve Dixon, 2003; ACI 544. IR-96, 1996).

### 2.1.2. Agregalar

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Betonda hacimsel olarak yaklaşık % 60-75 yer kaplayan agregalar önemli bir bileşendir.

Agrega yığnında bulunan tanelerin yüzdelilerinin belirlenmesine granülometri denir. Kaliteli yani, yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için agreganın granülometrisi çok önemlidir. Bu nedenle granülometrik bileşim bulunmalıdır. Çıkan değerlere göre minimum boşluklu beton için hangi agregadan hangi oranda alınacağı belirlenir. Betondaki boşlukların minimuma indirilmesiyle birlikte betondaki dayanımda artmaktadır.

Agrega özellikleri sadece betonun özelliklerini değil, aynı zamanda beton karışımına dâhil edilecek malzeme miktarını ve dolayısıyla betonun ekonomisini de etkiler. Beton üretiminde agregalar kullanılması tek nedeni betonun maliyetini düşürmek değildir. Agregalar, betonun teknik özelliklerine de önemli derecede fayda sağlar. Agreganın teknik faydaları şu şekilde özetlenebilir:

1) Çimento hamuru, zamanla kuruyan ve büzülen bir malzemedir. Beton içerisindeki agregalar, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde azaltmaktadır. Bu sebeple, sadece çimento hamurundan oluşmuş bir malzemeye göre, betonun hacim değişimi ve buna bağlı olarak oluşabilecek çatlaklar daha azdır.

2) Beton üretiminde kullanılan agregalar, genellikle, sert ve yüksek dayanıma sahip olan malzemelerdir. Yüksek agregalar dayanımı, betonun yüksek dayanımına katkıda bulunur. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelen diğer yıpratıcı unsurlara karşı daha dirençli olmasına yardımcı olur.

Farklı boyutlarda agregalar Şekil 2.1’de verildi.



**Şekil 2.1.** Agregat örneği (URL-1, 2020)

### 2.1.3. Su

Karışım suyunun betonun imal edilmesinde iki önemli işlevi vardır:

- Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik yani işlenebilir bir kıvamda dönüştürmek.
- Plastik kıvamda gelmiş kütlenin çimento ile kimyasal reaksiyonu sayesinde katılaşmasına neden olmak.

Kıvam  $m^3$ 'e eklenen su miktarına bağlıdır. Betonun dayanımını en fazla etkileyen parametrelerden biri su/çimento oranıdır. Bu nedenle dökülmek için şantiyeye gelen taze betona kıvamını daha iyi yapmak amacıyla ilave su katmak betonun dayanımını önemli derecede düşürür. Genel olarak tüm içme suları, betonda kullanıma uygundur. Fakat suyun betonda kullanılabilmesi için içilebilir olması zorunlu değildir. Bazı ön testlerin yapılması şartıyla içilemeyen su ile yüksek kaliteli beton elde edilebilir. Ancak karışım suyunda bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, kanalizasyon ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonu olumsuz etkileyebilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin periyodik olarak kontrol edilmesi zorunludur. Beton içerisinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar sadece dayanımı azaltmakla kalmamaktadır. Aynı zamanda boşluklardan giren zararlı etkenler (klor, sülfat vb. zararlı faktörler) beton ve donatıyı olumsuz etkilemekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır.

### 2.1.4. Katkı Maddeleri

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim esnasında veya döküm öncesinde düşük miktarda eklenen maddelere katkı denir. Katkı maddeleri bazen beton karışım suyuna katılır. Gerektiğinden fazla kullanıldığında negatif etkiler oluşturabileceği gibi yine gerektiğinden az kullanıldığı takdirde hiç bir faydası olmayabilir (Gaimster ve Dixon, 2003).

Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kimyasal katkılar, betonun birtakım özelliklerini geliştirmek için beton içerisindeki çimento miktarı veya beton hacmine yüzde olarak katılan organik veya inorganik kökenli katkı maddeleridir.

Kimyasal katkılar genel olarak betondaki olumlu etkiler; Sabit işlenebilmede su gereksinimini % 5'den fazla azaltabilir, her yaştaki basınç dayanımını % 10'dan fazla arttırabilir, daha sık bir beton elde ederek donma çözölmeye, betonun dayanıklılığını arttırır ve yüzey görünümü düzelir. Olumsuz etkileri ise priz gecikebilir, rötre artabilir ve çökme kaybı meydana gelebilir (ACI 544. IR- 96, 1996).

Kimyasal katkılara; Akışkanlaştırıcılar, süperakışkanlaştırıcılar, priz geciktiriciler, priz hızlandırıcılar örnek olarak verilebilir.

Çimento gibi öğütölmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, vb. Maddelere mineral katkı adı verilir. Mineral katkılar tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar.

Çimento ya da betonun belirli bir özelliğini daha iyi bir duruma getirmek amacıyla kullanılan katkılar ile istenilen hedeflere ulaşırken diğer bazı özelliklerde olumsuzluklar olabilir. Böyle bir durumu anlayabilmek için belirli koşullar altında katkı kullanarak ve kullanmayarak kıvam, rötre ve dayanım deneyleri yapılmalı ve bu deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak katkı maddelerinin betonun diğer özellikleri üzerinde bir zararı olup olmadığı anlaşılır. Bu açıdan katkı maddelerinin kullanılmasında çok titiz davranılmalı, uygulamada yapılabilecek küçük bir hatanın bile olumsuz sonuçlar doğuracağı unutulmamalıdır (Alkan, 2004).

## **2.2. Lifler**

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı mineral ve / veya kimyasal katkılarının birlikte karıştırılmasıyla elde edilebilen gevrek bir malzemedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2006). Beton, yapısı gereği kırılğan bir malzeme olduğu için yüzeyinde önlenemeyen kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Betonun bu olumsuz özelliğini iyileştirmek için birçok deney yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde çok uzun zamandır kullanılan lif çözüm olarak bulunmuştur.

Geçmiş çağlarda yapıları zamanın olumsuz etkilerinden korumak için saman, hayvan kılı vb. doğal lifler kullanarak mikro güçlendirme tekniğini uygulanmıştır. Ülkemizde MÖ 2500'lü yıllara dayanan Trioa kazıları bu uygulamaya örnek olarak bulunmuştur. Burada yaşayanlar, pişmiş tuğladan yapılmış örme duvardaki sıvalarda keçi kılı ve saman çöpgü kullanarak mikro donatı teknolojisinin ilk örneklerini gerçekleştirmişlerdir (Gököz, 1978).

Lif; çeşitli şekil ve boyutlardaki polimer, çelik, cam ve doğal malzemelerden elde edilen esneklik, uzunluk ve dayanıklılığa sahip bir malzemedir. Betonun mukavemet, tokluk, dayanıklılık ve süneklik gibi özelliklerini geliştirmek için lifin kullanılması gerektiğini

düşünenlerin sayısı artmaktadır. (Do, Chaal ve Aitein, 1993; Singh ve Kaushik, 2003). Gün geçtikçe lif kullanımı yaygınlaşmıştır (Gököz, 1978).

Lifler; doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal lifler; hayvanlar, bitkiler ve mineraller gibi doğal kaynaklardan elde edilen formda direkt olarak kullanılabilen hammaddelerden elde edilir. Yapay lifler ise beklenen özellikleri karşılamak için üretilen ve geliştirilen takviye malzemeleridir (Acun, 2000).

Beton içerisine birçok lif katılmaktadır. Şekil 2.2’de bu liflere örnekler verildi.



Şekil 2.2. Lif örnekleri (URL-2, 2020)

### 2.3. Polipropilen Lifler

Eski yapılarda, dış cephe sıvalarında ve zeminlerde kullanılan harçlarda çatlamayı engellemek için saman, hayvan kılı vb. ürünlerin kullanıldığı bilinmektedir. Polipropilen lifler, çatlamaya karşı kullanılan ancak taşıyıcı olmayan lifler olarak düşünülebilir. Genel olarak polipropilen liflerin özellikleri göz önüne alındığında;

- Büzülme milimetre başına 0,006 mm ile 0,02 mm arasındadır.
- Çekme dayanımı 450 MPa ile 900 MPa arasında değişir.
- Erime noktası sıcaklığı yaklaşık 162 ° C'dir.
- Tutuşma noktası sıcaklığı yaklaşık 593 ° C'dir.
- Yoğunluğu 0,90 g / cm<sup>3</sup> civarında değişmektedir.
- Elastisite modülü yaklaşık 3500-4000 MPa'dır.
- Öte yandan polipropilenin diğer malzemelere göre (özellikle plastik, etilen vb.) birçok avantajı vardır.

Bu avantajlardan öne çıkan bazıları:

- Yorgunluğa karşı çok iyi direnç gösterir
- Düşük maliyetli
- İyi bir darbe direncine sahip olmak
- Düşük sürtünme katsayısı
- Çok iyi elektrik yalıtımı sağlar
- İyi kimyasal direnç
- Mikroorganizmalara dayanıklı
- Neme dayanıklı olarak listelenebilir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu olumlu yönlerinin yanında elbette polipropilenin malzeme olarak bazı olumsuz yönleri de vardır. Bu dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük UV ışığı direnci
- Yüksek termal genleşme
- Boyaması ve kaplaması zor
- Malzeme olarak dış hava koşullarına karşı düşük direnç
- Yanıcı olmak
- Klor içeren çözücülerle etkileşen olarak listelenebilir (Bahadır, 2010).

Betona ilave edilen polipropilen liflerden örnekler Şekil 2.3’de gösterildi.



**Şekil 2.3.** Polipropilen lif örnekleri (URL-3, 2020)

## 2.4. Polipropilen Lifli Betonlar Hakkında Yapılan Çalışmalar

Yıldırım yaptığı çalışmada su emme miktarı betonda çelik lifler arttıkça azalmakta fakat polipropilen lif miktarı arttıkça su emme miktarı da artmaktadır (Yıldırım, 2002).

Kırca ve Şahin yaptıkları çalışmada polipropilen liflerin beyaz çimento harcı üzerindeki etkisi incelenmiştir. 1m<sup>3</sup> betonda 600gr polipropilen elyaf kullanılmış ve S/Ç oranı 0,49 olarak belirlenmiştir. Lifli serilerin, kontrol serilerine göre büzülme deformasyonlarını %25 oranında düşürmüş ve donma-çözülme etkisinden sonra basınç dayanımını %15 oranında yükseltmiştir (Kırca ve Şahin, 2003).

Akkaş ve arkadaşları, yarı hafif betona polipropilen elyaf ilave edilerek basınç dayanımı belirlenmiştir. S/Ç oranı 0.38 olarak belirlendi ve sonucun da lifli numunelerin yük altında parçalanmadığı gözlemlendi (Akkaş vd., 2010).

Karahan yaptığı çalışmada betona uçucu kül, polipropilen ve çelik elyaf ilavesi sonucunda numunelerin bazı özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Numunelere hacimce % 0,05 -% 0,1 - % 0,2 oranında 19 mm uzunluğunda polipropilen elyaf eklenmiştir. 35 mm uzunluğundaki çelik lif hacimce %0,25 -%0,5 -%1,5 oranlarında eklenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, polipropilen elyaftaki artışın betonun birim ağırlığını düşürdüğü ve polipropilen elyafın işlenebilirliğe çelik elyaftan daha az etkisinin olduğu belirlendi. Polipropilen liflerin basınç dayanımını fazla etkilemediği ancak çelik liflerin basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. Polipropilen liflerin elastisite modülünü azalttığı ve betonun süneklik özelliğini iyileştirdiği görülmüştür (Karahan, 2006).

Tokyay ve arkadaşları, polipropilen elyaf ve çelik elyaf betonların basınç ve eğilme yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. S/Ç oranı 0,25 olarak belirlenmiş ve polipropilen elyaf 1 kg/m<sup>3</sup>, çelik elyaf %1,5 (hacimce) oranında kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda her iki elyaf türünün de çekme mukavemetini artırdığı ve basınç dayanımı polipropilen elyaf numunelerinin değerleri, kontrol numunelerinin değerlerinden pek farkı olmadığı görülmüştür (Tokay vd., 1991).

Kiper yaptığı çalışmada, polipropilen liflerin plastik rötreyi önlediği ve beton kusmasını önlediği tespit edilmiştir. Darbe dayanımı etkisinde betonun parçalanmasına izin vermediği için ani göçme açısından betonun kuvvetlendiği görülmüştür (Kiper, 1996).

Morris ve arkadaşları, 19 mm uzunluğunda hacimce %0, %0.1, %0.5 polipropilen elyaf ilavesiyle güçlendirilmiş plakaların özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, betona ilave edilen lif miktarındaki artış basınç dayanımı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Lif miktarının artmasıyla darbe dayanımının arttığı belirlenmiştir (Morris vd., 2002).

Sağlık ve Kocabeyler yaptıkları çalışmada, %0.1, 0.3, 0.5 oranlarında polipropilen lifler ilave edilerek yapılan betonlar incelenmiştir. Lif oranındaki artışın çökme değerini azalttığı ancak

diğer özelliklerde (tokluk ve su geçirgenliği hariç) bir fayda sağlamadığı görüldü (Sağlık ve Kocabeyler, 1998).

Uğurlu yaptığı çalışmada, 1 m<sup>3</sup> betona 600 gr ve 900 gr polipropilen lif eklenmiştir. Yapılan deneyler incelendiğinde basınç dayanımının %10 yükseldiği ve kılcal su emiliminin %35 düştüğü görülmüştür (Uğurlu, 1994).

Subaşı ve Emiroğlu yaptıkları çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonlara farklı oranlarda polipropilen ve çelik elyaf ilave edilerek basınç dayanımı ve işlenebilirlik üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Yapılan deneyler incelendiğinde, en küçük basınç dayanımı kontrol numunelerinde ve en yüksek değer ise çelik elyaf katkılı betonda olduğu ortaya koyulmuştur (Subaşı ve Emiroğlu, 2008).

Mostofinejad yaptığı çalışmada, polipropilen lifli betonun rötre çatlakları ve işlenebilirliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lifler 6mm, 12mm, 19mm olmak üzere %0.05, %0.1, %0.2 oranlarında kullanılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında polipropilen liflerin büzülme çatlaklarını azalttığı, basınç dayanımını artırdığı ve çökme değerini düşürdüğü belirlenmiştir (Mostofinejad, 2004).

Ardeshana yaptığı çalışmada, betona elyaf ekleyerek dayanıklılığın su yapıları üzerindeki etkisini incelediler. % 0, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35 ve 0.4 oranlarında 12mm uzunlukta polipropilen elyaf kullanılmıştır. Beton sınıfı C30 seçilmiştir. Sonuç olarak dayanıklılığın %0,3 oranında arttığı tespit edilmiştir (Ardeshana, 2012).

Saeed yaptığı çalışmada, polipropilen lifli betonlar hakkında genel bir çalışma yapılmıştır. Numunelere %0.18, %0.4 aralığında polipropilen elyaf ilave edilerek betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi özelliklerine bakılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda basınç dayanımında % 0,55'e varan artış gözlenmiş. Rötre çatlaklarında ise % 83 - % 85 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir (Saeed, 1996).

Can ve arkadaşları, betona lif eklenmesinin aşınma direncine etkileri araştırılmıştır. Numunelerde, çimento dozajı 340kg, S/Ç oranı 0.50, maksimum tane çapı 22mm alınarak C30 beton üretilmiştir. Çalışmalarında ortalama çökme değeri 14,9 olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, basınç dayanımı sırasıyla en yüksek çelik lifli numunelerde, sonra polipropilen lifli numunelerde en düşük ise kontrol numunelerinde olduğu görülmüştür. Aşınma direncinde ise kontrol numuneleri ve polipropilen ilave edilen numunelerin değerleri arasında pek fark olmadığı görülmüştür. Öte yandan, en iyi aşınma direnci çelik elyaf katkılı numunelerde olduğu belirlenmiştir (Can vd., 2009).

Jun ve arkadaşları, polipropilen lif takviyeli betonların davranışlarına bakılmıştır. Deneylerde çimento dozajı 450kg, S/Ç oranı 0.32 ve maksimum tane çapı 16mm ve lif miktarı 0kg - 0.7kg - 0.9kg - 1.5kg ve 2.4kg olarak belirlenmiştir. Deneylerin sonucunda optimum lif oranı 0,7 kg / m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir (Jun vd., 2010).

Pelisser ve arkadaşları, betona polipropilen lif ve silis dumanı eklenerek yük altındaki davranışları incelenmiştir. Numunelere %0, %0.1, %0.3, %0.5 polipropilen elyaf ve %0 - 10 silis dumanı eklenmiştir. Çimento dozajı 420 kg ve S/Ç oranı 0.35, 0.40, 0.50 olarak üç tip seçilmiştir. Deney sonucuna bakıldığında; polipropilen lif katkılı betonların basınç dayanımında azalma olduğu görülmüştür. Betonda polipropilen lif kullanımı çatlakların azalmasını sağlamıştır. Karışımda %10 silis dumanı ve %0,3 polipropilen elyaf kullanılarak optimum karışıma ulaşıldığı görülmüştür (Pelisser vd., 2010).

Serrano ve arkadaşları, karışımlara çelik ve polipropilen lif ilave ederek yangın direncini araştırmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında iki lif çeşidinin kullanımı yüksek sıcaklığa karşı direncini ve dayanımı yükseltmiştir (Serrano vd., 2016).

Afroughsabet ve arkadaşları, çelik ve polipropilen lifli yüksek dayanımlı betonların mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak kancalı çelik ve polipropilen lifleri değişik karışımlarda farklı oranlarda kullanmıştır. Ayrıca karışımlarda durabiliteyi ve yüksek dayanımı sağlamak için çimentoyu silis dumanı ile %10 oranında yerine koyarak kullanmıştır. Liflerin karışıma eklenmesiyle betondaki çatlakların ilerlemesi engellenerek mekanik özelliklerde iyileşme olduğu görülmüştür. Durabilite özelliklerine bakıldığında polipropilen ve çelik lif eklenmesi karışımların elektriksel direncini düşürmüştür. Bunlara ilaveten karışımlarda polipropilen veya çelik lif ile silis dumanının kullanımı betonun su emmesinde ciddi derecede azalmalara neden olmuştur (Afroughsabet vd., 2015).

Islam ve Gupta çalışmalarında, betona ilave edilen polipropilen lifin betonun büzülme ve geçirgenlik davranışlarını üzerindeki etkisi incelenmiştir. Karışımlarda lifin %0.1 - %0,3 oranlarında kullanılması betonun kuruma-büzülme çatlaklarını %50 - %99 oranında düşürmüştür. Fakat karışıma polipropilen ilavesiyle hem su hem de gaz geçirgenliğinde yükselmeler olmuştur (Islam ve Gupta, 2016).

Mardani ve arkadaşları, polipropilen lif kullanım oranının artırılmasıyla, karışımların yayılma değerini sabit tutmak için su azaltıcı katkı miktarı artırılmıştır. Betona ilave edilen lif beton karışımlarının erken yaş basınç dayanımını negatif yönde etkilemiştir. Fakat hacimce %0,8 oranına kadar lif kullanımı betonların 28-günlük basınç dayanımlarını pozitif etkilemiştir. Aynı davranışlar karışımların eğilme dayanımları, yarmada çekme ve ultrases geçiş hızı değerlerinde de görülmüştür (Mardani vd., 2017).

Song ve arkadaşları, betona polipropilen lif katarak, betonun özelliklerine bakmışlardır. Polipropilen lifi m<sup>3</sup>'te 600g olacak şekilde katılmıştır. Polipropilen lif eklenmesiyle çökme değerinin düştüğü ve basınç, darbe, yarmada çekme dayanımının ise yükseldiği sonucuna varmışlardır (Song vd., 2005).

Nili ve Afroughsabet yaptıkları çalışmada, S/Ç ve polipropilen lif oranları varyasyonu test parametreleri olarak kullanılmıştır. Ek olarak çimento ağırlığının % 8'i kadar silis dumanı ile yer

değiştirilmiştir. 12 mm boyundaki elyaflar %0, %0.2, %0.3, % 0.5 olmak üzere 4 farklı oranda kullanılmıştır. Bu çalışmada numunelerin basınç ve darbe dayanımlarına bakılmıştır. Deneyler sonucunda, %0.5 polipropilen lif oranına kadar basınç dayanımı artmıştır (Nili ve Afroughsabet, 2010).

Yiğiter yaptığı çalışmada, yüksek performanslı lifli betonun enerji yutma kapasitesi ve deformasyon özelliklerini araştırmıştır. Farklı maksimum agrega parçacık çapları, farklı elyaf geometrileri ve farklı elyaf dozajlarının betondaki gerilme deformasyon davranışına etkileri araştırılmıştır. Elyaflar, 7. günde kontrol numunelerine göre eğilme dayanımlarında etkin artışlar sağlarken, 28. gün mukavemetlere etkisi daha azdır. Tahmin edildiği gibi, eğilme mukavemetindeki en büyük gelişme  $120\text{kg/m}^3$  lük maksimum elyaf dozu olmuştur. Yarma testinde elyaflar beklenen sonucu vermiş ve elyaf dozajı arttıkça yarıma mukavemetinin arttığını belirtmiştir (Yiğiter, 2002).

Alkan yaptığı çalışmada, 12mm, 25mm, 38mm, 51mm ebatlarında polipropilen elyaf içeren dört seri ve polipropilen elyafsız bir seri olmak üzere toplam beş seri beton üretildi. Elyaf yüzdeleri hacimce %0.5' te sabit tutuldu. Yarma çekme testi için 150mm çapında ve 60mm yüksekliğinde, elastisite modülü ve standart basınç testleri için 100mm çapında ve 200mm yüksekliğinde silindirler üretmiştir. Deneysel çalışmada basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, net eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve süneklik karşılaştırılmıştır (Alkan, 2004).

## 2.5. Taguchi Metodu

Ürün veya sürecin optimum parametre seviyesini belirleyerek çıktı değerlerindeki değişimi en aza indirmeyi amaçlayan Taguchi Yöntemi, kalitenin sürekliliğini sağlamak ve parametrelerini iyileştirmek için Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem, değişkenliğe neden olan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı ürün/hizmet ve süreç için kontrol edilebilir faktör seviyelerini optimize eder. Bu nedenle, ürün/hizmet ve süreçteki değişkenliği en aza indirmeye yardımcı olur (Öktem, 2012).

Dr. Genichi Taguchi, Japon telefon sistemini geliştirme projesinde çok başarılı olmuş ve bu projedeki başarısıyla dünyada adından söz ettirmiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Japonya'daki en önemli projelerden biri olan bu projenin, Nippon telefon telgraf araştırma merkezinin AT & T'nin %2'si olmasından bu yana 20 yılda tamamlanacağı düşünülmekteydi. Taguchi ise Ronald Fisher'ın geliştirdiği deneysel tasarım yöntemine eklediği yeniliklerle; sağlam tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerini kullanarak projeyi sadece 4 yılda tamamladı. Taguchi, 1962 yılında birçok ürün geliştirmede etkin bir şekilde kullanılan sağlam tasarım ile kalite alanındaki en önemli ödüllerden biri olan Deming ödülüne layık görülmüştür (Şirvancı, 1997).

Deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan Taguchi deneysel tasarım yöntemi, çalışma için gereken zaman ve çabayı en aza indirirken, hedef sonuçlara ulaşmak için gereken deney sayısını azaltarak en çok tercih edilen yöntemlerden biri haline gelmiştir. Taguchi, kaliteyi artırmak için üretimden müşteriye teslimata kadar geçen sürede meydana gelen kayıplar olarak tanımlanan kalite kayıplarına odaklandı. Hatalı ürün performansının ve azalan güvenilirliğin müşteri üzerindeki etkilerinden kaynaklanan kayıplar, pazar payındaki düşüş ve üreticilerin karşılaştığı kayıplar kalite kayıpları kapsamında değerlendirilirken; bu kayıplar, kayıp fonksiyonları ve süreç üzerindeki etkileri olarak açıklanabilir (Soylak, 2000).

Temel felsefesi tasarım aşamasında kaliteyi sağlamak olan Taguchi yöntemi, ortogonal diziler kullanarak deney sayısını büyük ölçüde azaltan ve aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indiren deneysel bir tasarım tekniğidir. Taguchi felsefesinin temeline göre kalite, toplumdaki hedef değerden sapmaların neden olduğu kayıplara bağlı olarak ölçülmelidir ve bu bakımdan Taguchi felsefesi sadece bilimsel değil aynı zamanda felsefidir. Bu tekniğin felsefesi şu şekilde özetlenebilir (Soylak, 2000; Saat, 2000).

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, toplumda ürünün neden olduğu kayıptır.
2. Rekabet ortamında işletmelerin kalıcılığını sürdürmek için kalite açısından sürekli iyileştirme ve maliyet azaltma esastır.
3. Sürekli kalite iyileştirme programlarının temel amacı, ürün hedef değerinden sapmaları sürekli olarak azaltmaktır.
4. Bir ürünün performansındaki sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp, yaklaşık olarak bu sapmanın karesi ile orantılıdır.
5. Ürünün tasarım mühendisliği ve üretim süreci, o ürünün nihai kalitesini ve maliyetini verir.
6. Ürün performansındaki sapmayı azaltmak için performansı etkileyen parametrelerin doğrusal olmayan etkilerinin kontrol edilmesi gerekir.
7. İstatistiksel olarak tasarlanmış deneyler, ürün veya süreçlerin performans sapmalarını azaltmak için kullanılır.

### **2.5.1. Ürün Ve Süreç Performansını Etkileyen Faktörler**

Taguchi, deneysel tasarım kullanımının aşağıdaki noktalarda önemli olduğunu belirtmiştir (Box ve Bisgaard, 1987).

- 1.Ortalama veya hedef değerden farkı en aza indirmek,
- 2.Çevre koşullarına karşı sağlam ürünler üretmek,
- 3.Parçalarda varyansa duyarlı olmayan ürünlerin üretimi.
- 4.Ürünlerin uzun ömürlülüğünü test eder.

Bunlardan ilk üçü, Taguchi'nin parametre tasarımı dediği şeylerdir. Taguchi deneysel tasarımında, ürünün veya sürecin performansı ve karakteristiğini etkileyen faktörleri şu şekilde belirler (Logothesis, 1992).

1. Kontrol edilebilir faktörler (tasarım faktörleri): bunlar, değerleri tasarım veya proses mühendisi tarafından kolaylıkla belirlenebilen faktörlerdir.

2. Kontrol edilemeyen faktörler (gürültü faktörleri): bunlar genellikle üretim ortamıyla ilişkili varyans kaynaklarıdır. Genel performansı ideal olarak içlerindeki varyansa duyarlı olmamalıdır.

Kontrol edilebilir faktörler kendi içinde üçe ayrılır:

1. Sinyal faktörleri (hedef kontrol faktörleri): Bunlar ortalama tepki seviyesini etkileyen faktörlerdir.

2. Varyans kontrol faktörleri: Bunlar yanıtta varyansı etkileyen faktörlerdir.

3. Maliyet faktörleri: Bunlar, ortalama tepkiyi veya varyansı etkilemeyen ve ekonomik koşullara göre belirlenen faktörlerdir.

### 2.5.2. Testlerin Yapılması

İlgilenilen problemi çözmek için birden fazla performans özelliğinin özelliklerine göre performans istatistikleri seçilir. Verilerin analizi seçilen performans istatistiklerine göre yapılır. Bu nedenle performans istatistiklerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Taguchi tasarımlarında en sık kullanılan performans istatistiği S/N oranıdır ve bu oran performansını ölçmek için kullanılır. Testler, problem tarafından belirlenen ortogonal dizinin çizgileriyle tahmin edilen testlerden oluşur. Deney boyunca hatayı en aza indirmek için, gürültü faktörlerinin etkisi görebilme, gözlem değerlerinin sayısına bağlıdır. Seçilen her deneysel tasarım ne kadar sık test edilirse, deneyin güvenilirliği o kadar yüksek olur.

### 2.5.3. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları

Deney tasarımı 1930'larda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş olmasına rağmen, Taguchi varyasyonu azaltmak için deneysel tasarımı ilk uygulayan kişidir.

Taguchi, deneysel tasarımda bir analiz değişkeni veya performans kriteri olarak kullanılmak üzere "S/N oranı" adı verilen bir dizi ölçüt tanımladı.

Taguchi, varyasyonu azaltmak için, deneysel tasarımda performans kriteri olarak kullanmak üzere, S/N oranı adı verilen bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir S/N oranı tanımlamıştır (Şirvancı, 1997).

**En Küçük – En İyi**

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda, S/N oranı bulunurken kullanılan Denklem 2.1' de verilmiştir.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (2.1)$$

#### **En Büyük – En iyi**

Bu durumda Y'nin hedef değeri sonsuzdur. Bu durumda, S/N oranı bulunurken kullanılan Denklem 2.2' de verilmiştir.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2.2)$$

#### **Hedef Değer – En İyi**

Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda, S/N oranı bulunurken kullanılan Denklem 2.3' de verilmiştir.

$$(S/N) = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad (2.3)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen denklemlerde “y” performans karakteristiği değerini, “s<sup>2</sup>” ise varyansı ifade etmektedir.

Her üç problemde de, amaç S/N oranını maksimize etmektir.

### **2.5.4. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi**

Ortogonal dizinin kullanımı Taguchi'ye özel değildir. Fakat Taguchi, kullanımlarını basitleştirdi. Ortogonal dizinin ilk kullanımı 1930'larda İngiltere'de Fisher tarafından yapıldı. Ortogonal dizi, dengeli dizi anlamında kullanılır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri kullanmıştır. Ortogonal dizinin çok kullanılmasının en önemli nedeni birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve aynı anda faktör seviyelerinin değiştirilmesine izin vermesidir. Ortogonal diziler problemin karakterine göre 2 aşamalı, 3 aşamalı, 2 ve 3 aşamalı olarak belirlenir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denir. Genel gösterimi Denklem 2.4' de verilmiştir.

$$L_d(a)^k \text{ yada } L_d \quad (2.4)$$

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi

Yaygın olarak kullanılan diziler, 2 düzey için  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{16}$  ve  $L_{32}$  ve 3 düzey için  $L_9$ ,  $L_{18}$  ve  $L_{27}$ 'dir. Serinin seçimi seviye sayısına ve toplam serbestlik derecesine göre yapılır. Ortogonal dizi, ürün ortalamasını ve varyansını etkileyen birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlar.  $L_9$  tasarım matrisi örnek olarak Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.**  $L_9$  tasarım matrisi (Peace, 1992).

|   | 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 |

Ortogonal Diziler, tam faktöryel tasarım için gereken deneme sayısını ( $2^k$  veya  $3^k$ ) büyük ölçüde düşürür. Tablo 2.1 için, tam faktör tasarımına göre  $3^4 = 81$  deneme gerekirken, ortogonal diziler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir.

Ortogonal dizinin seçiminde, faktör grubunun toplam serbestlik derecesi dikkate alınır. Faktör grubunun serbestlik derecesi, tüm faktörlerin ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin toplamıyla bulunur. Toplam serbestlik derecesi 1 arttırıldığında deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur.

#### 2.5.5. Sonuçları Analiz Etme

Ürün performansını etkileyen faktörler ve bunların uygun seviyeleri belirlendikten sonra, sadece kritik faktörlerin ve/veya etkileşimlerin dâhil edilmesi için bir model oluşturulur ve analiz edilir. Varyans analizi, faktör etkilerinin grafik gösterimi, elde edilen gözlem değerlerinin analizinde elektronik tablo yöntemi gibi yöntemler kullanılır.

#### 2.5.6. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Deney analizi sonucunda elde edilen optimum değerlerin yorumlanması amacıyla doğrulama deneyi olarak adlandırılan bir deney yapılır. Bu deney optimum parametre seviyeleri esas alınarak yapılır ve analiz sonucu ile kıyaslanır. Teoriksel ve deneysel sonuçlar arasında yaklaşık %90 oranında yakınsaklık elde edilmesi amaçlanır. Bu orana ulaşılması teoriksel ve deneysel çalışmanın doğru ve tutarlı olduğunun göstergesidir.

#### 2.5.7. Taguchi Metoduyla Yapılan Çalışmalar

Alişer ve arkadaşları, cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının sülfat direncinin Taguchi metodu ile analizini yapmışlardır. Mermer tozunun olumlu etkisi deneysel ve teoriksel analizlerde görülmektedir. Mermer tozunun ilavesiyle olumlu sonuçlar alınmış ve optimum değere % 40 oranında ulaşılmıştır. Cam lif sülfat direncine karşı olumlu bir etkisi görülememiştir. Karışımdaki cam lif oranının artmasıyla beraber sonuçlar olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu olumsuzluğun en büyük sebebi cam lif ile harç arasındaki aderansın zayıf olmasından dolayıdır (Alişer vd., 2015)

Arıcı ve Keleştemur yaptıkları çalışmada, farklı değerlerde S/Ç oranına ve dozaja sahip Tufal ilaveli çimento harçlarının basınç dayanımlarının analizini Taguchi metodu ile yapmışlardır. Karışıma tufalin ilavesi basınç dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. İnce tufal (0-0.25 mm) bütün oranlarda olumlu etkilerken, iri tufalin (0.25-1 mm) %5 ilavesinden sonraki oranlarda ters yönde etkisi olmuştur. Tufalde optimum değere ince için %15, iri için %5 oranlarında ulaşılmıştır. S/Ç oranındaki artış beklenildiği gibi basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Fakat ince tufalin ilavesi S/Ç oranının sebep olduğu dayanım azalmasını telafi etmiştir. S/Ç oranının optimum değeri 0.5 olarak belirlenmiştir (Arıcı ve Keleştemur, 2018).

Ramroom yaptığı çalışmada, basınç dayanımı için Taguchi analizini incelendiğinde, Sinyal/Gürültü oranlarının basınç dayanımı üzerine etkisine bakmış ve maksimum basınç dayanımının %20 silis dumanı, %0 uçucu kül, %0 yüksek fırın cürufu karışımında elde edilmiştir. Eğilme dayanımı için Taguchi analizi, optimum seviyenin % 10 silis dumanı, %0 uçucu kül, %0 yüksek fırın cürufu karışımında elde edilmiştir (Ramroom, 2020).

Keskin ve Yıldırım yaptıkları çalışmada, genleştirilmiş perlit, perlit atığı ve taban külünün çimento ile yer değiştirmesi sağlanarak harcın performansının artırılması için Taguchi metodu kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma ile günümüzde en büyük sorunlardan biri olan çevre sorununun çözümüne katkıda bulunabilmek adına, termik santral atığı olan taban külünün ve ülkemizin önemli doğal kaynaklarından perlitin (atıkları ile birlikte), inşaat sektörü alanında değerlendirilmesi ve geri dönüşümü sağlanmasının mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Bu sayede harca, daha iyi yalıtım özellikleri kazandırılabilceği görülmektedir. Optimum parametre ve düzeylerini belirlemek için yararlanılan Taguchi metodu sayesinde hem deney sayısı minimum sayıya indirgenmiş, hem de verimli bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Keskin ve Yıldırım, 2016).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada polipropilen (P.P.) lifli betonların Taguchi metoduyla optimizasyonu yapılarak en iyi karışım oranlarının bulunması amaçlandı. Bu amaçla, Tablo 3.1’ de verilen dört parametre esas alınarak  $L_{18}$  ( $6^1 \times 3^3$ ) Taguchi ortogonal dizini belirlendi. Belirlenen ortogonal dizin Tablo 3.2’ de verildi. Ayrıca serilerin tamamında ortalama çimento dozajı dikkate alınarak 4 kg süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldı. Serilerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme oranı ve ultrases geçiş süresi testi (UPV) değerleri hazırlanan 10x10x10 cm’lik küp numuneler üzerinde yapılan deneylerle belirlendi. Bu tez çalışmasında deneyler Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında yapıldı.

**Tablo 3.1.** Deney parametreleri ve seviyeleri

| Deney Parametreleri           | Parametre Seviyeleri |          |          |          |          |          |
|-------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                               | Seviye 1             | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 | Seviye 5 | Seviye 6 |
| <b>A</b> Polipropilen Lif (%) | 0                    | 0.03     | 0.05     | 0.1      | 0.2      | 0.4      |
| <b>B</b> $D_{max}$ (mm)       | 4                    | 8        | 16       |          |          |          |
| <b>C</b> Dozaj (kg)           | 350                  | 400      | 450      |          |          |          |
| <b>D</b> S/Ç Oranı            | 0.45                 | 0.50     | 0.55     |          |          |          |

**Tablo 3.2.** L<sub>18</sub> ortogonal dizini

| Seri No | A | B | C | D | P.P. Lif Oranı (%) | D <sub>max</sub> (mm) | Dozaj (kg) | S/Ç Oranı |
|---------|---|---|---|---|--------------------|-----------------------|------------|-----------|
| S1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 0                  | 4                     | 350        | 0.45      |
| S2      | 1 | 2 | 2 | 2 | 0                  | 8                     | 400        | 0.50      |
| S3      | 1 | 3 | 3 | 3 | 0                  | 16                    | 450        | 0.55      |
| S4      | 2 | 1 | 1 | 2 | 0.03               | 4                     | 350        | 0.50      |
| S5      | 2 | 2 | 2 | 3 | 0.03               | 8                     | 400        | 0.55      |
| S6      | 2 | 3 | 3 | 1 | 0.03               | 16                    | 450        | 0.45      |
| S7      | 3 | 1 | 1 | 1 | 0.05               | 4                     | 400        | 0.45      |
| S8      | 3 | 2 | 2 | 2 | 0.05               | 8                     | 450        | 0.50      |
| S9      | 3 | 3 | 3 | 3 | 0.05               | 16                    | 350        | 0.55      |
| S10     | 4 | 1 | 1 | 3 | 0.10               | 4                     | 450        | 0.55      |
| S11     | 4 | 2 | 2 | 1 | 0.10               | 8                     | 350        | 0.45      |
| S12     | 4 | 3 | 3 | 2 | 0.10               | 16                    | 400        | 0.50      |
| S13     | 5 | 1 | 1 | 3 | 0.20               | 4                     | 400        | 0.55      |
| S14     | 5 | 2 | 2 | 1 | 0.20               | 8                     | 450        | 0.45      |
| S15     | 5 | 3 | 3 | 2 | 0.20               | 16                    | 350        | 0.50      |
| S16     | 6 | 1 | 1 | 2 | 0.40               | 4                     | 450        | 0.50      |
| S17     | 6 | 2 | 2 | 3 | 0.40               | 8                     | 350        | 0.55      |
| S18     | 6 | 3 | 3 | 1 | 0.40               | 16                    | 400        | 0.45      |

### 3.1. Kullanılan Malzeme Ve Özellikleri

Bu çalışmada; agrega, çimento, su, polipropilen lif ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesini kullanarak beton numuneleri üretilmiştir. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda kısaca verildi.

#### 3.1.1. Agrega Özellikleri

Bu çalışmada, Elazığ ili sınırları içerisinde temin edilen max. agrega çapı 4, 8, ve 16 mm olan doğal kum ve çakıl kullanıldı. Şekil 3.1’de kullanılan agregalar gösterilmiş ve agregalara ait özellikler Tablo 3.3’de verildi.



**Şekil 3.1.** Kullanılan agregalar

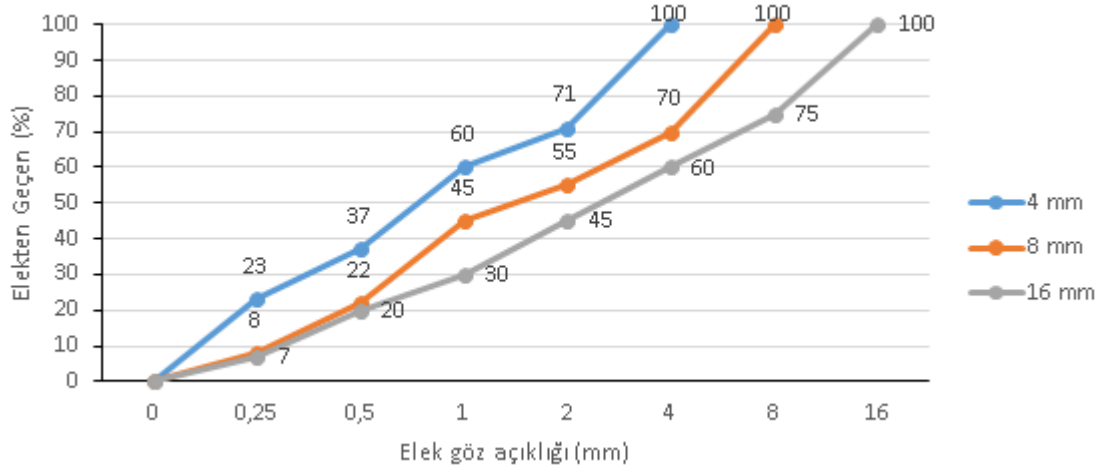
**Tablo 3.3.** Agregâ özellikleri

|                                | Agregâ Çapı (mm) |      |      |
|--------------------------------|------------------|------|------|
|                                | 0-4              | 4-8  | 8-16 |
| Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> ) | 2.67             | 2.76 | 2.79 |
| Su emme oranı (%)              | 1.43             | 0.75 | 0.80 |
| İncelik modülü                 | 3.09             | 4.00 | 4.63 |

Agregâ granülometri değerleri Tablo 3.4’de verildi ayrıca Şekil 3.2’de granülometri eğrileri gösterildi.

**Tablo 3.4.** Agregâ granülometri değerleri

| Elek Açıklığı<br>(mm) | Agregâ Çapı (mm) |     |      |
|-----------------------|------------------|-----|------|
|                       | 0-4              | 4-8 | 8-16 |
| 16                    | 100              | 100 | 100  |
| 8                     | 100              | 100 | 75   |
| 4                     | 100              | 70  | 60   |
| 2                     | 71               | 55  | 45   |
| 1                     | 60               | 45  | 30   |
| 0.50                  | 37               | 22  | 20   |
| 0.25                  | 23               | 8   | 7    |



Şekil 3.2. Deney agregaların granülometri eğrileri

### 3.1.2. Çimento Özellikleri

Betonların üretilmesinde bağlayıcı madde olarak Elazığ Çimsa Fabrikasından temin edilen TS EN 197-1' de standardına uygun CEM 1 42,5 R tipi çimento kullanıldı. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.5'de verildi.

Tablo 3.5. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

| Çimento CEM I 42,5 R           |       |                                 |      |
|--------------------------------|-------|---------------------------------|------|
| Kimyasal Özellikler            |       | Fiziksel Özellikler             |      |
| SiO <sub>2</sub>               | 17.73 | Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )    | 3.14 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.56  | Özgül yüzey(cm <sup>2</sup> /g) | 3807 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.07  | Priz başlama süresi(dk)         | 141  |
| CaO                            | 62.81 | Priz bitiş süresi(dk)           | 228  |
| MgO                            | 2.07  | İncelik 45m elek üstü %         | 8.98 |
| SO <sub>3</sub>                | 2.90  | Basınç Dayanımı                 |      |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.29  | 3. gün(Mpa)                     | 27.7 |
| K <sub>2</sub> O               | 0.62  | 7. gün(Mpa)                     | 41.8 |
| Cl                             | 0.02  | 28. gün(Mpa)                    | 57.2 |
| Kızdırma kaybı                 | 3.36  |                                 |      |
| CaO (serbest kireç)            | 0.56  |                                 |      |
| Çözünmeyen kalıntı             | 0.85  |                                 |      |

### 3.1.3. Karışım Suyu Özellikleri

Betonların üretiminde ve küründe Elazığ şehrinin şebeke suyu kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan suyun içerisinde beton açısından hiçbir zararlı madde içermemektedir. Suyun kalitesi betondaki bütün mühendislik özelliklerini etkilediği için suyun betonda kullanılması TS EN 1008’de verilen şartlara uygun olarak yapıldı. Karma suyu kullanılırken herhangi bir yerde bekletilmeden şebekeden alınıp direk kullanıldı.

### 3.1.4. Kimyasal Katkı Özellikleri

Bu çalışmada betonlar hazırlanırken kimyasal katkı maddesi olarak Sikament firmasının ürettiği Sika 98 süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanıldı. Şekil 3.3’de gösterilen süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri Tablo 3.6’ da verildi.



Şekil 3.3. Kullanılan kimyasal katkı

Tablo 3.6. Süperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri

| Teknik Özellikler                | Sika 98      |
|----------------------------------|--------------|
| Görünüm                          | Sıvı         |
| Yoğunluk ( gr/ cm <sup>3</sup> ) | 1,09-1,13    |
| Renk                             | Kahverengi   |
| pH                               | 6 - 10       |
| Klorür içeriği ( % )             | En fazla 0.1 |

### 3.1.5. Polipropilen Lif Özellikleri

Bu çalışmada, Sika firmasından temin edilen Tablo 3.7’de teknik özellikleri verilen PPM-12 polipropilen lif kullanıldı. Kullanılan lif Şekil 3.4’de gösterildi.

**Tablo 3.7.** Polipropilen lifin teknik özellikleri

| Özellikler       | Sika Fiber PPM-12       |
|------------------|-------------------------|
| Saflık           | %100 polipropilen       |
| Tip              | Homopolimer             |
| Katkı            | Yok                     |
| Görünüm          | Doğal Beyaz             |
| Kesit            | Dairesel                |
| Standart         | ASTM-C1116              |
| Fiber uzunluğu   | 6,12mm                  |
| Çekme mukavemeti | 350MPa                  |
| Özgül Yoğunluk   | 0.91 gr/cm <sup>3</sup> |
| Yumuşama noktası | 140°C                   |
| Ergime noktası   | 165-170 °C              |
| Asit etkisi      | Dayanıklı               |



**Şekil 3.4.** Kullanılan polipropilen lif

### 3.2. Beton Üretimi Ve Karışım Oranları

Deneysel çalışmalar için gerekli olan seriler Taguchi ortogonal dizisine göre belirlendi. TS 802 esaslarına uygun olarak hesaplanan L<sub>18</sub> ortogonal dizisindeki serilerin karışım oranları Tablo 3.8’ de verildi.

**Tablo 3.8.** L<sub>18</sub> ortogonal dizisindeki serilerin 1m<sup>3</sup> için karışım miktarları

| Seri No | Çimento (kg) | Su (kg) | Agrega (kg) |       |        | Polipropilen Lif (%) | Akışkanlaştırıcı (kg) |
|---------|--------------|---------|-------------|-------|--------|----------------------|-----------------------|
|         |              |         | 0 - 4       | 4 - 8 | 8 - 16 |                      |                       |
| S1      | 350          | 158     | 1789        | -     | -      | 0                    | 4                     |
| S2      | 400          | 200     | 1237        | 479   | -      | 0                    | 4                     |
| S3      | 450          | 248     | 739         | 220   | 591    | 0                    | 4                     |
| S4      | 350          | 175     | 1742        | -     | -      | 0.03                 | 4                     |
| S5      | 400          | 220     | 1197        | 416   | -      | 0.03                 | 4                     |
| S6      | 450          | 203     | 797         | 237   | 638    | 0.03                 | 4                     |
| S7      | 400          | 180     | 1687        | -     | -      | 0.05                 | 4                     |
| S8      | 450          | 225     | 1156        | 401   | -      | 0.05                 | 4                     |
| S9      | 350          | 193     | 852         | 254   | 682    | 0.05                 | 4                     |
| S10     | 450          | 248     | 1465        | -     | -      | 0.1                  | 4                     |
| S11     | 350          | 158     | 1354        | 470   | -      | 0.1                  | 4                     |
| S12     | 400          | 200     | 821         | 244   | 658    | 0.1                  | 4                     |
| S13     | 400          | 220     | 1581        | -     | -      | 0.2                  | 4                     |
| S14     | 450          | 203     | 1200        | 417   | -      | 0.2                  | 4                     |
| S15     | 350          | 175     | 875         | 260   | 700    | 0.2                  | 4                     |
| S16     | 450          | 225     | 1525        | -     | -      | 0.4                  | 4                     |
| S17     | 350          | 193     | 1284        | 446   | -      | 0.4                  | 4                     |
| S18     | 400          | 180     | 648         | 252   | 678    | 0.4                  | 4                     |

### 3.3. Çalışmada Uygulanan Deneyler

Yapılan çalışmada taze beton, her seri için 9 küp numune olarak tasarlandı. Bu çalışmadaki deneylerde TS EN 12390-1'e uygun olarak bir kenarı 10 cm olan standart küp deney kalıpları kullanıldı. Beton kalıplara doldurulurken şişlenerek ve tokmaklanarak yerleştirildi. Betonun sıkıştırmak için kalıba dışardan vibrasyon uygulandı. Dökülen seriler 1 gün kalıpta bekletildi. Daha sonra kalıptan çıkartıldı ve kür tankına yerleştirildi. 28 gün sonra kürden alınarak basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, UPV ve su emme oranı değerleri belirlendi.

#### 3.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Her serinin basınç dayanımını belirlemek için 10×10×10 cm' lik küp numuneler üretildi. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımı ölçüldü. Numuneler, TS EN 12390-4 basınç dayanım test makineleri şartnamesi standardına, TS EN 12390-3 deney numunelerine, basınç dayanımı tayini standardına uygun olarak test edildi. Küp numuneler Şekil 3.5'de gösterilen makine ile 3 MPa / s yükleme hızında kırıldı. Basınç dayanımı Denklem 3.1 ile hesaplandı

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.1)$$

Burada,

$f_c$ : Basınç dayanımı , MPa

F: Kırılma anında ulaşılan max yük ( kuvvet ) , N

$A_c$ : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı , mm<sup>2</sup>



Şekil 3.5. Basınç cihazı

### 3.3.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Basınç testi yapılacak küp numuneleri ile birlikte dökülen yarmada çekme testine ait küp numuneler kür havuzundan alınarak hasarsız testlere tabi tutulur ve test numunelerinin TS EN 12390-6' da tarif edildiği gibi teste tabi tutulmasıyla elde edilen kuvvet değerleri aşağıda denklem 3.2'de yerlerine konularak yarmada çekme dayanımları belirlendi. Küp numuneler Şekil 3.6'da gösterilen makine ile 0,47 MPa /s yükleme hızıyla kırıldı. Yarmada çekme dayanımı Denklem 3.2 ile hesaplandı.

$$\sigma_c = \frac{2P}{\pi l^2} \quad (3.2)$$

Burada,  
 $\sigma_c$ : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

P: Yük (N)

l: Küpün bir ayrıntının uzunluğu (mm)



Şekil 3.6. Yarmada çekme cihazı

### 3.3.3. Ultrases Geçiş Süresi Deneyi

ASTM 597'de açıklanan ultrases geçiş süresi testi, numunelere uygulandı ve sonuçlar kaydedildi. Kontrol numuneleri ile polipropilen elyaf numuneleri arasında bir karşılaştırma yapıldı. Deneylerde her seri için altı tane küp numune kullanılıp karşılıklı yüzeylerden okumalar yapıldı.

Şekil 3.7'de gösterilen ultrases geçiş süresi test cihazın da okunan değerler, gönderen başlıktan alıcı başlığa kadar geçen süreyi mikrosaniye cinsinden gösterir. Bu değer, kilometre/saat cinsinden hız değeri olan Denklem 3.3 kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan bu değerlerle Tablo 3.9' da verilen aralıklara bakılarak betonun kalitesi hakkında yorumlar yapıldı.

$$V = \frac{S}{t} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada,

V: Sesüstü dalga hızını (km / s)

S: Alıcı ve verici başlık arasındaki mesafeyi ( m )

t: Ultrases aleti üzerinden okunan değer (  $\mu$ s )



Şekil 3.7. UPV cihazı

Tablo 3.9. Ses geçiş hızı ile betonun kalitesi arasındaki ilişki

| Ses Hızı İle Betonun Kalitesinin Tahmin Edilmesi |                |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Ses Hızı (V) Km/S.                               | Beton Kalitesi |
| >4.5                                             | Mükemmel       |
| 3.5-4.5                                          | İyi            |
| 3.0-3.5                                          | Şüpheli        |
| 2.0-3.0                                          | Zayıf          |
| <2.0                                             | Çok Zayıf      |

### 3.3.4. Su Emme Deneyi

Beton numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 28 günlük kür ortamında bekletildi. Kürden çıkarılan numuneler tartılarak suya doymun ağırlıkları belirlendi. Daha sonra numuneler 24 saat etüvde bekletildi. Son olarak etüvden çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları ölçüldü. Su emme yüzdeleri, Denklem 3.4 yardımı ile hesaplandı.

$$W_w = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada,

$W_0$  : Etüv kuru ağırlık (kg)

$W_1$  : Doymun havadaki ağırlık (kg)

$W_w$  : Su emme miktarı

### 3.3.5. SEM Analizi

SEM veya taramalı elektron mikroskobu, odaklanan elektron demeti ile numunenin üst yüzünü tarayıp görüntü veren elektronik bir mikroskop tipidir. Elektronlar numune içerisindeki atomlar ile etkileşime girerek numunenin üzerindeki kompozisyon ve topoğrafi hakkında bilgileri olan farklı şekillerde sinyaller oluşturur. Raster tarama ile elektron demeti öncelikle yüzeyi tarar ve daha sonra algılanmış olan sinyallerle demetin konumu eşleştirilip görünüm ortaya çıkarılır. SEM Analizi ile 1 nm'den daha fazla çözünürlüğe varılabilir. Standart SEM analizi araçları maksimum vakumda, iletken ve kuru yüzeyleri araştırmak ve incelemek için yararlıdır. Fakat nemli ortamlarda, düşük vakumda sıcaklık farklarının fazla olduğu ortamlarda kullanılabilen değişik ortamlarda çalışabilen cihazlar da bulunmaktadır.

SEM analizinde görünüm elde etmek için en fazla uyarı gönderilen elektron demeti aracılığıyla numune içerisindeki atomların yaydığı ikincil elektronlardan (SE) yararlanılır. Numunelerin ayrı bölgesinden koparılan ikincil elektronların miktarındaki farklılık ilk önce yüzeyin demetle buluşma açısına yani farklı bir tabirle yüzeyin kompozisyonuna bağlıdır. İkincil elektronların ya geri saçılan elektronlar (BSE), ışık (elektron demeti) (CL), karakteristik X-ışınları, numune akımı ve aktarılan elektronlarla da numuneden çeşitli sinyaller alınarak istenilen özellikte kompozisyon ve topoğrafi analizleri uygulanır. SEM cihazının görüntüsü Şekil 3.8'de gösterildi



Şekil 3.8. SEM cihazı

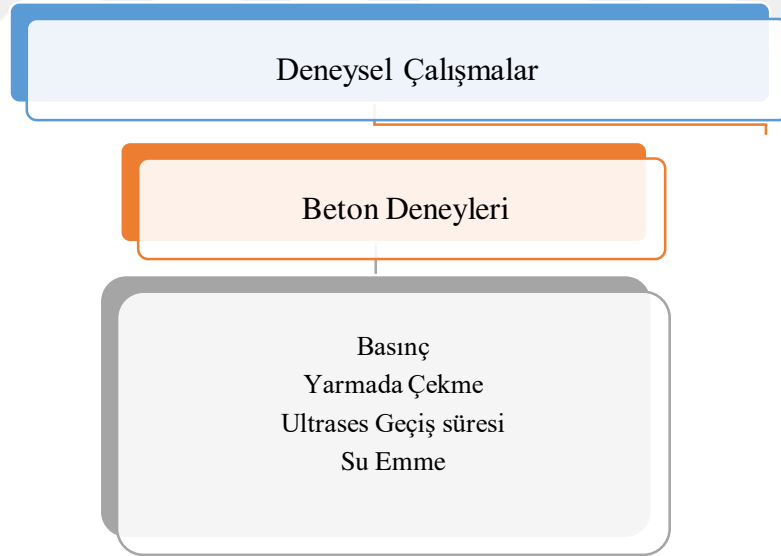
## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

Kullanılan malzemelerle dökülen bazı numunelerin kürden çıkarıldıktan sonraki hali Şekil 4.1’de verildi.



Şekil 4.1. Kürden çıkarılan numuneler

Beton numuneleri kürden çıkarıldıktan sonra yapılan deneyler Şekil 4.2’de verildi.



Şekil 4.2. Çalışmada uygulanan deneyler

### 4.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Yapılan deney sonucunda bulunan basınç dayanım değerlerinin Taguchi metoduyla analizleri yapıldı. Elde edilen analizler Tablo 4.1’de verildi. Betonun basınç dayanımının yüksek

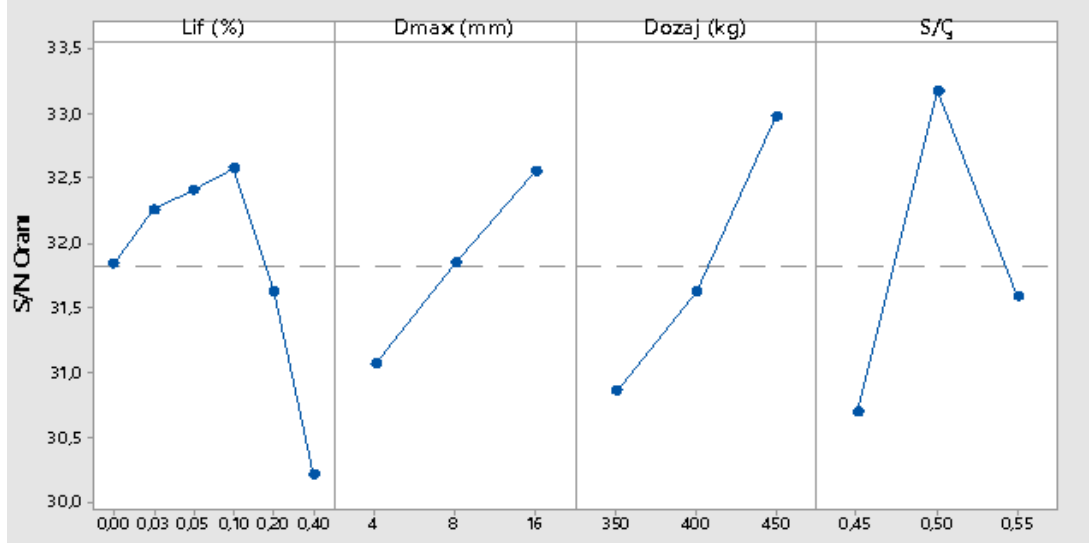
olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alındı ve Denklem 4.1’de hesaplandı.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (4.1)$$

**Tablo 4.1.** Basınç dayanımı S/N oranları

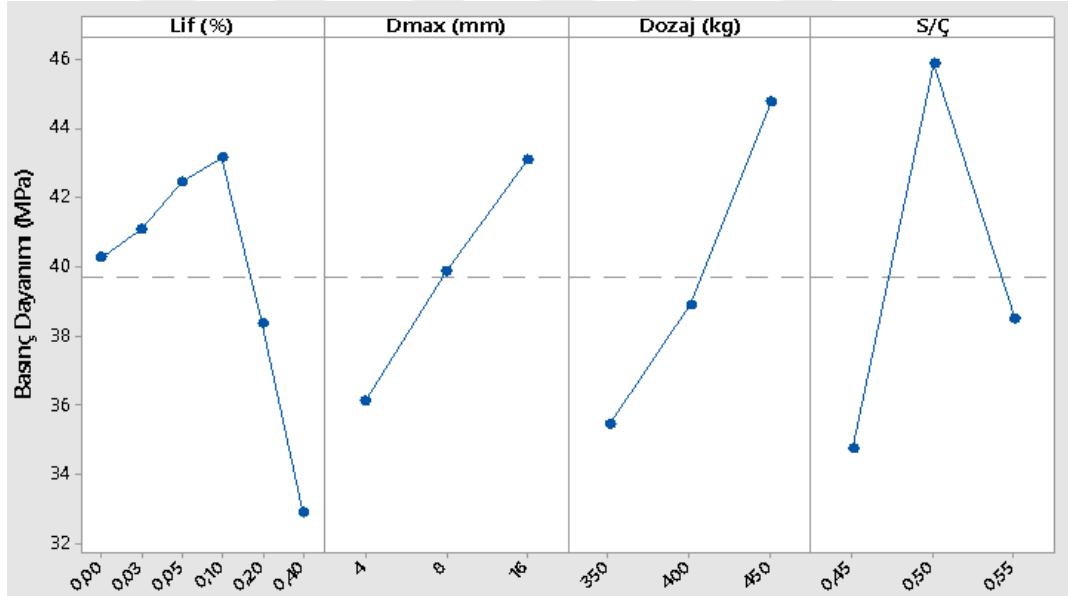
| Seri No | P.P. Lif Oranı (%) | D <sub>max</sub> (mm) | Dozaj (kg) | S/Ç Oranı | Basınç Dayanımı (MPa) | S/N Oranı |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-----------------------|-----------|
| S1      | 0                  | 4                     | 350        | 0.45      | 27.28                 | 28.72     |
| S2      | 0                  | 8                     | 400        | 0.50      | 45.83                 | 33.22     |
| S3      | 0                  | 16                    | 450        | 0.55      | 47.74                 | 33.58     |
| S4      | 0.03               | 4                     | 350        | 0.50      | 38.74                 | 31.76     |
| S5      | 0.03               | 8                     | 400        | 0.55      | 39.28                 | 31.88     |
| S6      | 0.03               | 16                    | 450        | 0.45      | 45.28                 | 33.12     |
| S7      | 0.05               | 4                     | 400        | 0.45      | 33.83                 | 30.59     |
| S8      | 0.05               | 8                     | 450        | 0.50      | 53.20                 | 34.52     |
| S9      | 0.05               | 16                    | 350        | 0.55      | 40.37                 | 32.12     |
| S10     | 0.10               | 4                     | 450        | 0.55      | 42.56                 | 32.58     |
| S11     | 0.10               | 8                     | 350        | 0.45      | 34.53                 | 30.76     |
| S12     | 0.10               | 16                    | 400        | 0.50      | 52.38                 | 34.38     |
| S13     | 0.20               | 4                     | 400        | 0.55      | 33.01                 | 30.72     |
| S14     | 0.20               | 8                     | 450        | 0.45      | 38.47                 | 31.70     |
| S15     | 0.20               | 16                    | 350        | 0.50      | 43.65                 | 32.80     |
| S16     | 0.40               | 4                     | 450        | 0.50      | 41.47                 | 32.35     |
| S17     | 0.40               | 8                     | 350        | 0.55      | 28.10                 | 28.97     |
| S18     | 0.40               | 16                    | 400        | 0.45      | 29.20                 | 29.31     |

Her parametre seviyesine göre S/N oranı ve basınç dayanımı hesaplandı. Optimum değerler bu sonuçlara göre belirlendi. Parametre seviyelerine göre S/N oranları Şekil 4.3’de basınç dayanımı ise Şekil 4.4’de verildi.



Şekil 4.3. Parametre seviyelerine göre basınç dayanımında S/N oranları

Şekil 4.3 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek S/N oranları elde edildiği görüldü.



Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre basınç dayanım değerleri

Şekil 4.4 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek basınç değerleri elde edildiği görüldü.

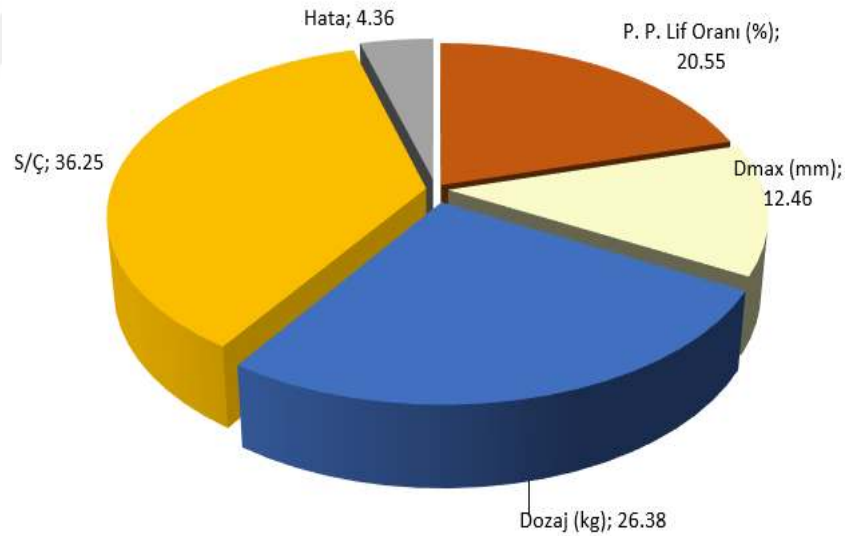
Deney parametrelerinin basınç dayanımı sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Varyans Analizi yapıldı. Varyans Analizinde bulunan sonuçlar Tablo 4.2'de verildi. Varyans analiz sonuçlarından F değeri incelendiğinde en büyük değerin S/Ç oranında ( $F=71.70$ )

olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre, en etkili parametrenin S/Ç oranı ve en etkisiz parametrenin ise P. P. lif oranı olduğu görüldü.

**Tablo 4.2.** Basınç dayanımı varyans analiz sonuçları

| Deney Parametreleri   | Serbestlik Dereceleri | Kareler Toplamı | Varyans | F     | Basınç Dayanımına Etki Oranı (%) |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------|-------|----------------------------------|
| P.P. Lif Oranı (%)    | 5                     | 11.20           | 2.24    | 17.03 | 20.55                            |
| D <sub>max</sub> (mm) | 2                     | 6.66            | 3.33    | 25.30 | 12.46                            |
| Dozaj (kg)            | 2                     | 13.80           | 6.90    | 52.45 | 26.38                            |
| S/Ç Oranı             | 2                     | 18.87           | 9.43    | 71.70 | 36.25                            |
| Hata                  | 6                     | 0,80            | 0.13    |       | 4.36                             |
| Total                 |                       |                 |         |       | 100                              |

Deney parametrelerinin basınç dayanımını ne kadar etkilediğini belirlemek için % olarak etki değerleri bulundu. Tablo 4.2’de verilen bu değerler Şekil 4.5’de gösterildi.



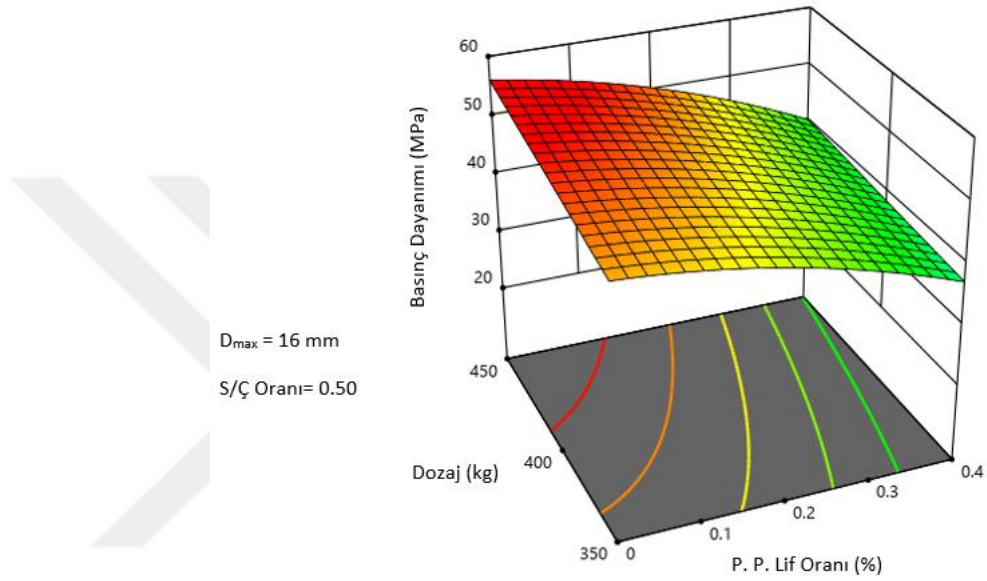
**Şekil 4.5.** Deney parametrelerinin basınç dayanım değerine etki oranları

Şekil 4.5 incelendiğinde; % 36.25 S/Ç oranı, % 26.38 dozaj, % 20.55 P.P. lif oranı ve % 12.46 D<sub>max</sub>’ın etkisinin olduğu görüldü.

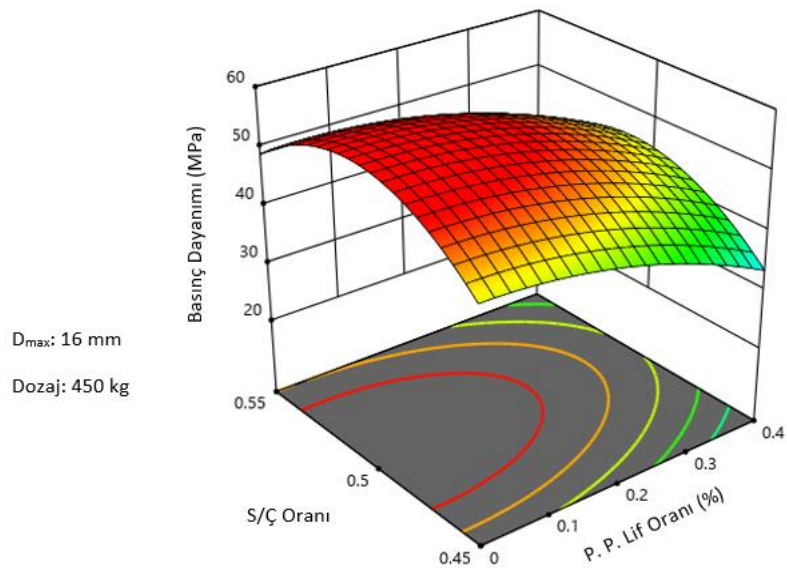
Basınç dayanımının deney parametrelerine göre değişiminin verildiği Şekil 4.6 – Şekil 4.8 deki grafikler incelendiğinde; Çimento dozajı ve agrega çapındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımını arttırdı. Fakat P.P. lif oranı ve S/Ç oranındaki artış basınç dayanımını bir noktaya

kadar olumlu etkilemesine rağmen belli bir değerden sonra olumsuz etki göstererek basınç dayanımını düşürdü.

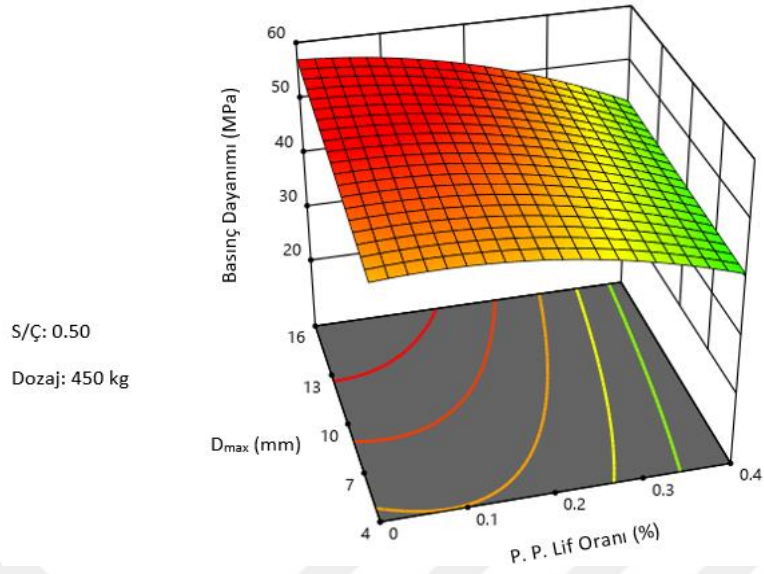
Şekil 4.6'dan görüleceği üzere polipropilen lif oranı % 0.1' den fazla olduğu durumda beton numunelerin basınç dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, Şekil 4.9'da yer alan polipropilen lif ilaveli betona ait elektron mikroskop görüntüsünde de görüleceği gibi, beton ile polipropilen lif arasında yeterli aderans olmamasına bağlanmaktadır.



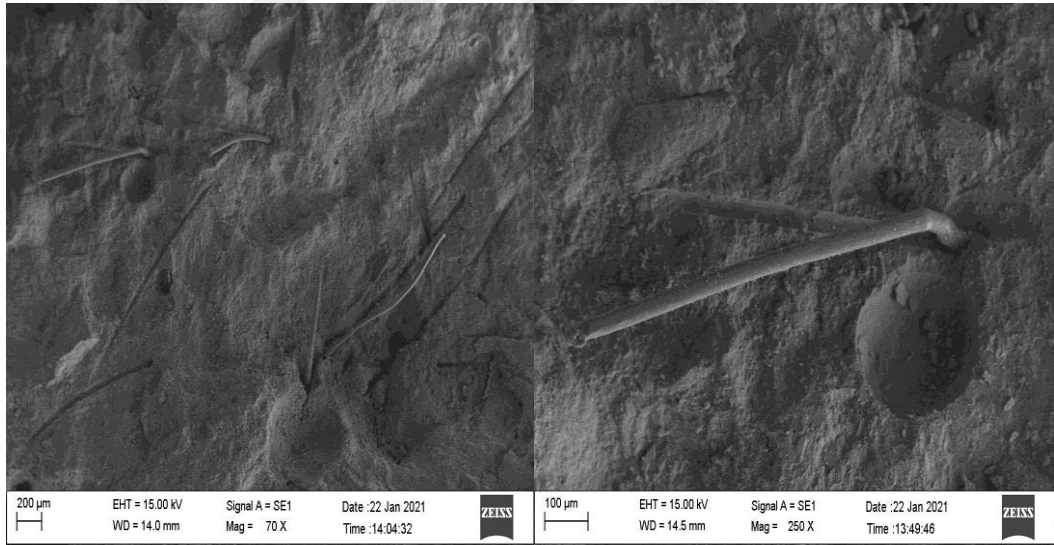
Şekil 4.6. Dozaj ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim



Şekil 4.7. S/Ç oranı ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim



**Şekil 4.8.**  $D_{max}$  ve polipropilen lif oranına göre basınç dayanımındaki değişim



**Şekil 4.9.** Polipropilen lif katkılı beton numunelerin SEM görüntüsü

Basınç deneyindeki parametrelerin optimum seviyeleri, Taguchi analizi ve doğrulama deney sonucu Tablo 4.3’de verildi.

**Tablo 4.3.** Basınç dayanımı analizi ve doğrulama deney sonuçları

| Deney Parametreleri   | Optimum Parametre Seviyeleri | Basınç Dayanımı (MPa) |                        |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                       |                              | Taguchi Analiz Sonucu | Doğrulama Deney Sonucu |
| P. P. Lif Oranı (%)   | 0.10                         | 61.78                 | 59.14                  |
| D <sub>max</sub> (mm) | 16                           |                       |                        |
| Dozaj (kg)            | 450                          |                       |                        |
| S/Ç Oranı             | 0.50                         |                       |                        |

Tablo 4.3 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10, D<sub>max</sub> 16mm, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda optimum basınç dayanımı elde edildi. Ayrıca Taguchi Analiz Sonucu ve Doğrulama Deney Sonucu hesaplandı. Bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu anlaşıldı.

#### 4.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

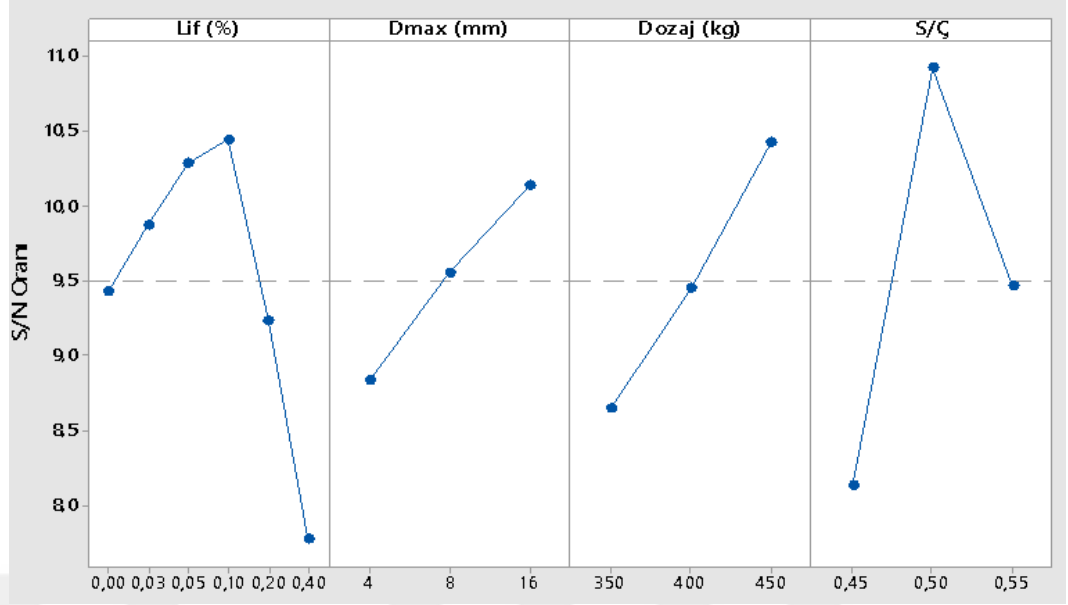
Yapılan deney sonucunda bulunan yarmada çekme dayanım değerlerinin Taguchi metoduyla analizleri yapıldı. Elde edilen analizler Tablo 4.4’ de verildi. Betonun yarmada çekme dayanımının yüksek olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alındı ve Denklem 4.2’de hesaplandı.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (4.2)$$

**Tablo 4.4.** Yarmada çekme dayanımı S/N oranları

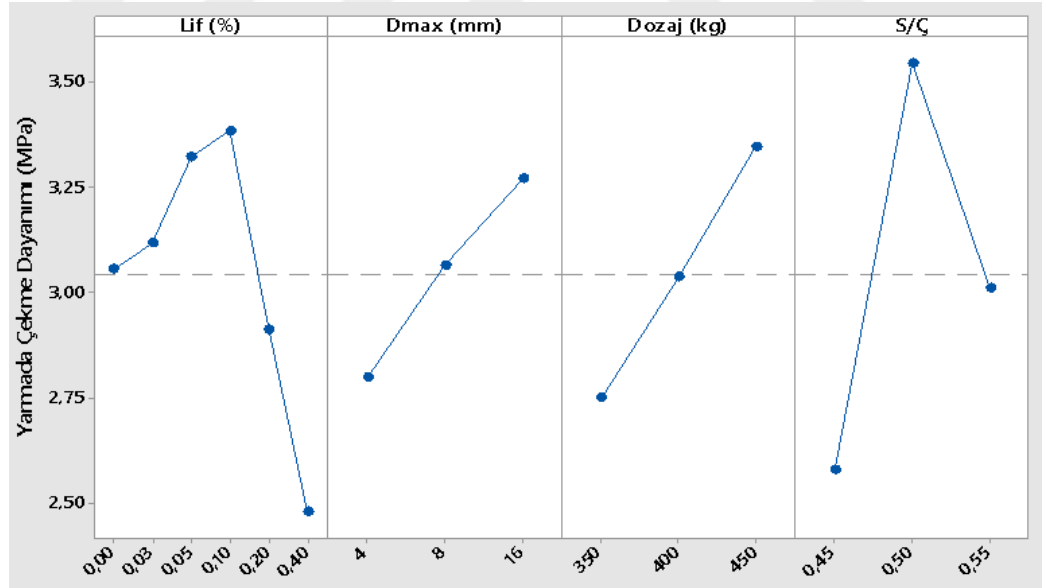
| Seri No | P.P. Lif Oranı (%) | D <sub>max</sub> (mm) | Dozaj (kg) | S/Ç Oranı | Yarmada Çekme Dayanımı (MPa) | S/N Oranı |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|------------------------------|-----------|
| S1      | 0                  | 4                     | 350        | 0.45      | 2.07                         | 6.24      |
| S2      | 0                  | 8                     | 400        | 0.50      | 3.57                         | 11.05     |
| S3      | 0                  | 16                    | 450        | 0.55      | 3.55                         | 10.99     |
| S4      | 0.03               | 4                     | 350        | 0.50      | 3.03                         | 9.64      |
| S5      | 0.03               | 8                     | 400        | 0.55      | 3.10                         | 9.81      |
| S6      | 0.03               | 16                    | 450        | 0.45      | 3.22                         | 10.15     |
| S7      | 0.05               | 4                     | 400        | 0.45      | 2.65                         | 8.45      |
| S8      | 0.05               | 8                     | 450        | 0.50      | 4.10                         | 12.26     |
| S9      | 0.05               | 16                    | 350        | 0.55      | 3.22                         | 10.15     |
| S10     | 0.10               | 4                     | 450        | 0.55      | 3.36                         | 10.53     |
| S11     | 0.10               | 8                     | 350        | 0.45      | 2.65                         | 8.45      |
| S12     | 0.10               | 16                    | 400        | 0.50      | 4.14                         | 12.34     |
| S13     | 0.20               | 4                     | 400        | 0.55      | 2.62                         | 8.38      |
| S14     | 0.20               | 8                     | 450        | 0.45      | 2.77                         | 8.84      |
| S15     | 0.20               | 16                    | 350        | 0.50      | 3.34                         | 10.48     |
| S16     | 0.40               | 4                     | 450        | 0.50      | 3.08                         | 9.76      |
| S17     | 0.40               | 8                     | 350        | 0.55      | 2.21                         | 6.90      |
| S18     | 0.40               | 16                    | 400        | 0.45      | 2.15                         | 6.66      |

Her parametre seviyesine göre S/N oranı ve yarmada çekme dayanımı hesaplandı. Optimum değerler bu sonuçlara göre belirlendi. Parametre seviyelerine göre S/N oranları Şekil 4.10'da, yarmada çekme dayanımı ise Şekil 4.11'de verildi.



Şekil 4.10. Parametre seviyelerine göre yarmada çekme dayanımında S/N oranları

Şekil 4.10 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek S/N oranları elde edildiği görüldü.



Şekil 4.11. Parametre seviyelerine göre yarmada çekme dayanım değerleri

Şekil 4.11 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek yarmada çekme dayanımı elde edildiği görüldü.

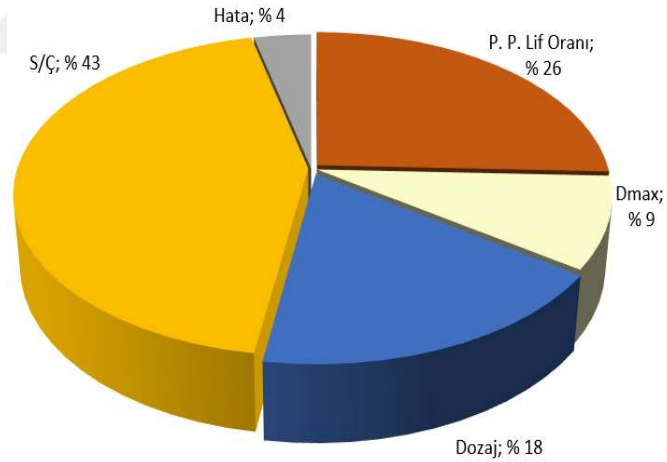
Deney parametrelerinin yarmada çekme dayanımı sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Varyans Analizi yapıldı. Varyans Analizinde bulunan sonuçlar Tablo 4.5'

de verildi. Varyans analiz sonuçlarından F değeri incelendiğinde en büyük değer S/Ç oranında ( $F=102.42$ ) olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre, en etkili parametrenin S/Ç oranı ve en etkisiz parametrenin ise  $D_{max}$  olduğu görüldü.

**Tablo 4.5.** Yarmada çekme dayanımı varyans analiz sonuçları

| Deney Parametreleri | Serbestlik Dereceleri | Kareler Toplamı | Varyans | F      | Yarma Dayanımına Etki Oranı (%) |
|---------------------|-----------------------|-----------------|---------|--------|---------------------------------|
| P.P. Lif Oranı (%)  | 5                     | 14.09           | 2.82    | 24.71  | 26                              |
| $D_{max}$ (mm)      | 2                     | 5.08            | 2.54    | 22.27  | 9                               |
| Dozaj (kg)          | 2                     | 9.53            | 4.77    | 41.78  | 18                              |
| S/Ç Oranı           | 2                     | 23.36           | 11.68   | 102.42 | 43                              |
| Hata                | 6                     | 0.68            | 0.11    |        | 4                               |
| Total               |                       |                 |         |        | 100                             |

Deney parametrelerinin yarmada çekme dayanımını ne kadar etkilediğini belirlemek için % olarak etki değerleri bulundu. Tablo 4.5’de verilen bu değerler Şekil 4.12’de gösterildi.

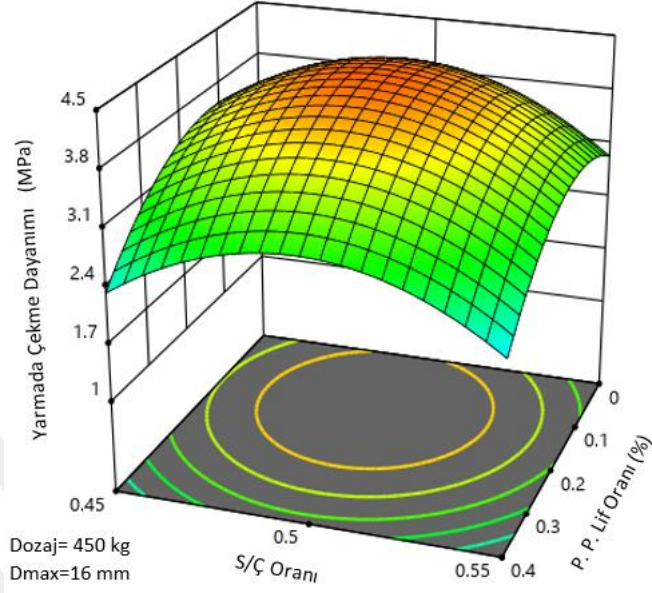


**Şekil 4.12.** Deney parametrelerinin yarmada çekme dayanım değerine etki oranları

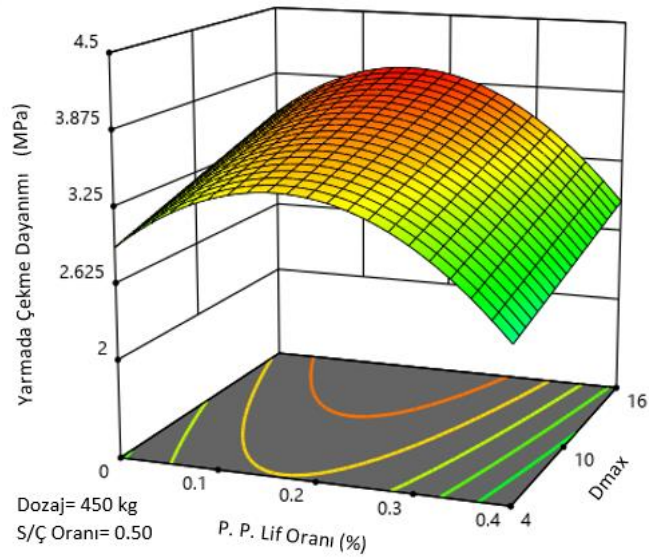
Şekil 4.12 incelendiğinde; % 43 S/Ç oranı, % 26 P.P. lif oranı, % 18 dozaj ve % 9  $D_{max}$ ’ın etkisinin olduğu görüldü.

Yarmada çekme dayanımının deney parametrelerine göre değişiminin verildiği Şekil 4.13 – Şekil 4.15 deki grafikler incelendiğinde; Agregat çapı ve dozaj artışına bağlı olarak yarmada çekme dayanımını arttırdı. Fakat P.P. lif oranı ve S/Ç oranındaki artış yarmada çekme dayanımını bir

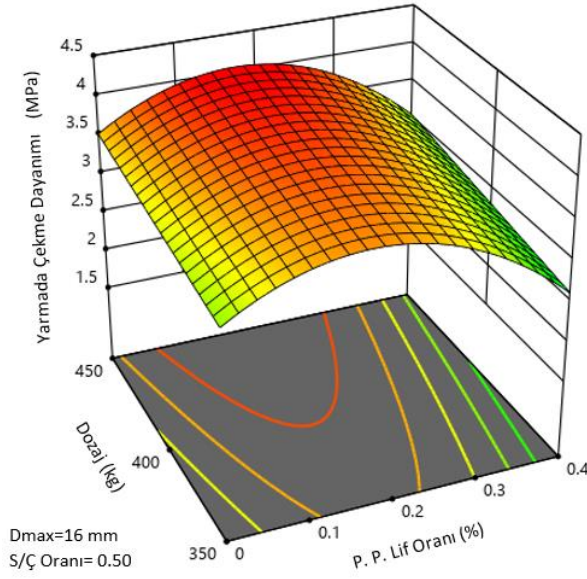
noktaya kadar olumlu etkilemesine rağmen belli bir değerden sonra olumsuz etki göstererek yarmada çekme dayanımını düşürdü.



Şekil 4.13. Polipropilen lif ve s/ç oranına göre yarmada çekme dayanımındaki değişim



Şekil 4.14. D<sub>max</sub> ve polipropilen lif oranına göre yarmada çekme dayanımındaki değişim



**Şekil 4.15.** Polipropilen lif oranı ve dozaja göre yarmada çekme dayanımındaki değişim

Grafiklerdeki değişim eğrileri incelendiğinde, dozaj,  $D_{max}$  ve S/Ç oranındaki değişimlerin yarmada çekme dayanımında ani artmaya veya düşmeye sebep olmamasına rağmen P.P. lif oranındaki küçük değişimlerde dahi yarmada çekme dayanımında ani değişimlere sebep olduğu görüldü.

Yarmada çekme deneyindeki parametrelerin optimum seviyeleri, Taguchi analizi ve doğrulama deney sonucu Tablo 4.6’da verildi.

**Tablo 4.6.** Yarmada çekme dayanımı analizi ve doğrulama deney sonuçları

| Deney Parametreleri | Optimum Parametre Seviyeleri | Yarmada Çekme Taguchi Analiz Sonucu | Dayanımı (MPa) Doğrulama Deney Sonucu |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| P. P. Lif Oranı (%) | 0.10                         |                                     |                                       |
| $D_{max}$ (mm)      | 16                           | 4.68                                | 4.72                                  |
| Dozaj (kg)          | 450                          |                                     |                                       |
| S/Ç Oranı           | 0.50                         |                                     |                                       |

Tablo 4.6 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.10,  $D_{max}$  16mm, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda optimum yarmada çekme dayanımı değeri elde edildi. Ayrıca Taguchi Analiz Sonucu ve Doğrulama Deney Sonucu hesaplandı. Bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu anlaşıldı.

### 4.3. Ultrases Geçiş Süresi Deney Sonuçları

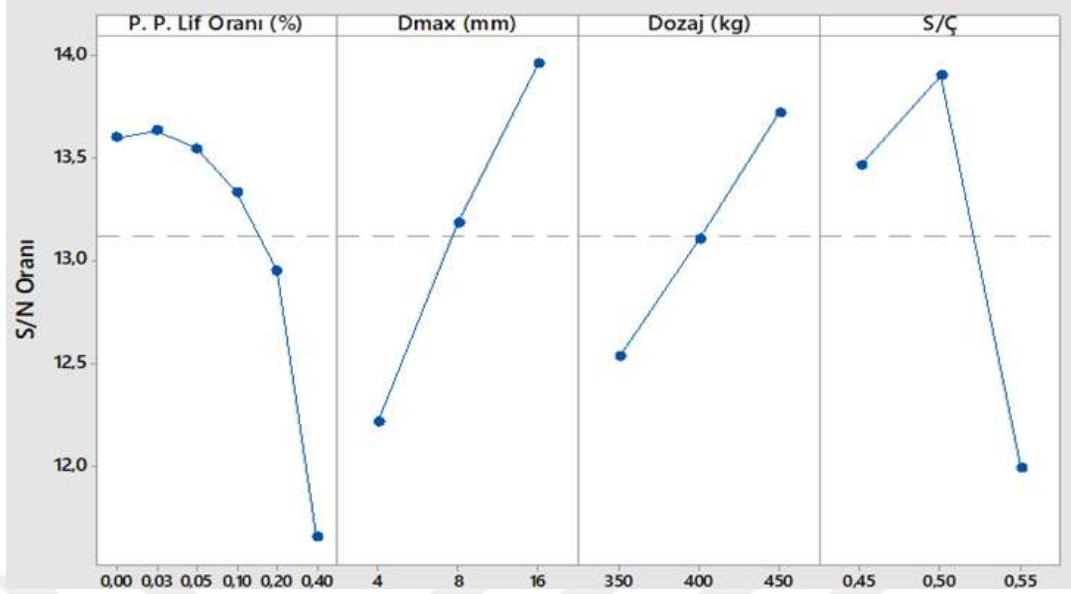
Yapılan deney sonucunda bulunan UPV değerlerinin Taguchi metoduyla analizleri yapıldı. Elde edilen analizler Tablo 4.7’de verildi. Betonun UPV değerinin yüksek olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alındı ve Denklem 4.3’de hesaplandı.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (4.3)$$

**Tablo 4.7.** UPV S/N oranları

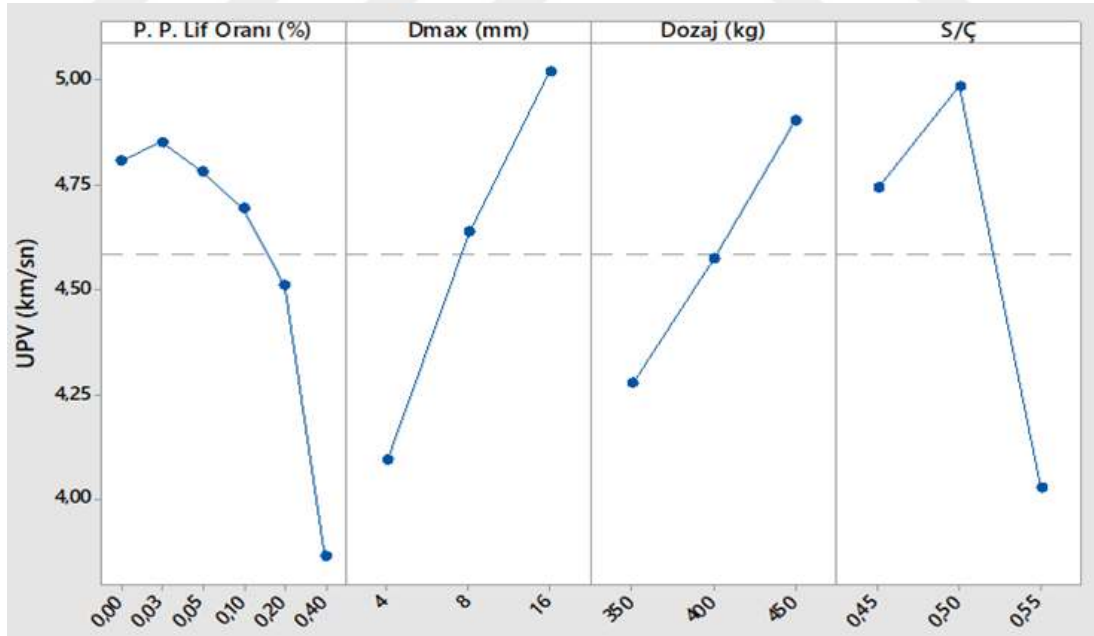
| Seri No | P.P. Lif Oranı (%) | D <sub>max</sub> (mm) | Dozaj (kg) | S/Ç Oranı | UPV  | S/N Oranı |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|------|-----------|
| S1      | 0                  | 4                     | 350        | 0.45      | 4.17 | 12.40     |
| S2      | 0                  | 8                     | 400        | 0.50      | 5.25 | 14.40     |
| S3      | 0                  | 16                    | 450        | 0.55      | 5.01 | 13.98     |
| S4      | 0.03               | 4                     | 350        | 0.50      | 4.38 | 12.82     |
| S5      | 0.03               | 8                     | 400        | 0.55      | 4.33 | 12.74     |
| S6      | 0.03               | 16                    | 450        | 0.45      | 5.83 | 15.32     |
| S7      | 0.05               | 4                     | 400        | 0.45      | 4.51 | 13.09     |
| S8      | 0.05               | 8                     | 450        | 0.50      | 5.47 | 14.77     |
| S9      | 0.05               | 16                    | 350        | 0.55      | 4.34 | 12.76     |
| S10     | 0.10               | 4                     | 450        | 0.55      | 3.88 | 11.81     |
| S11     | 0.10               | 8                     | 350        | 0.45      | 4.59 | 13.25     |
| S12     | 0.10               | 16                    | 400        | 0.50      | 5.60 | 14.96     |
| S13     | 0.20               | 4                     | 400        | 0.55      | 3.45 | 10.76     |
| S14     | 0.20               | 8                     | 450        | 0.45      | 5.03 | 14.04     |
| S15     | 0.20               | 16                    | 350        | 0.50      | 4.92 | 13.85     |
| S16     | 0.40               | 4                     | 450        | 0.50      | 4.17 | 12.40     |
| S17     | 0.40               | 8                     | 350        | 0.55      | 3.12 | 9.91      |
| S18     | 0.40               | 16                    | 400        | 0.45      | 4.29 | 12.65     |

Her parametre seviyesine göre S/N oranı ve UPV değeri hesaplandı. Optimum değerler bu sonuçlara göre belirlendi. Parametre seviyelerine göre S/N oranları Şekil 4.16’da, UPV ise Şekil 4.17’ de verildi.



Şekil 4.16. Parametre seviyelerine göre UPV' deki S/N oranları

Şekil 4.16 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.03,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek S/N oranları elde edildiği görüldü.



Şekil 4.17. Parametre seviyelerine göre UPV değerleri

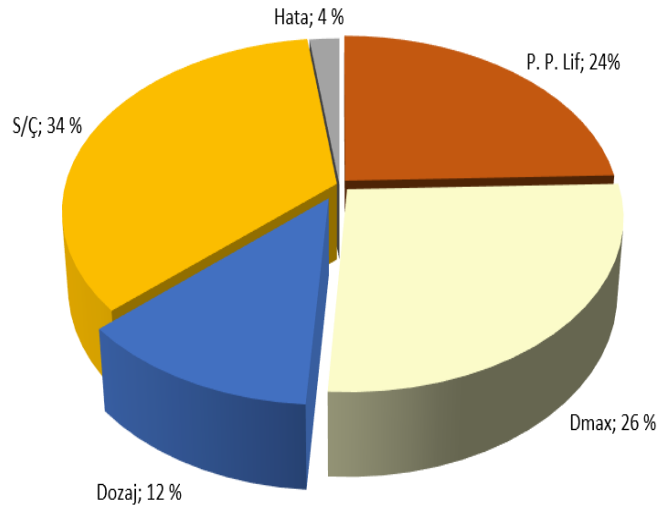
Şekil 4.17 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.03,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda en yüksek UPV değerleri elde edildiği görüldü.

Deney parametrelerinin UPV sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Varyans Analizi yapıldı. Varyans Analizinde bulunan sonuçlar Tablo 4.8’de verildi. Varyans analiz sonuçlarından F değeri incelendiğinde en büyük değerin S/Ç oranında ( $F=120.29$ ) olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre, en etkili parametrenin S/Ç oranı ve en etkisiz parametrenin ise P.P. Lif oranı olduğu görüldü.

**Tablo 4.8.** UPV varyans analiz sonuçları

| Deney Parametreleri | Serbestlik Dereceleri | Kareler Toplamı | Varyans | F      | UPV Değerine Etki Oranı (%) |
|---------------------|-----------------------|-----------------|---------|--------|-----------------------------|
| P.P. Lif Oranı (%)  | 5                     | 8.66            | 1.73    | 34.79  | 24                          |
| $D_{max}$ (mm)      | 2                     | 9.15            | 4.58    | 91.94  | 26                          |
| Dozaj (kg)          | 2                     | 4.23            | 2.12    | 42.50  | 12                          |
| S/Ç Oranı           | 2                     | 11.98           | 5.99    | 120.29 | 34                          |
| Hata                | 6                     | 0.30            | 0,05    |        | 4                           |
| Total               |                       |                 |         |        | 100                         |

Deney parametrelerinin UPV değerini ne kadar etkilediğini belirlemek için % olarak etki değerleri bulundu. Tablo 4.8’de verilen bu değerler Şekil 4.18’de gösterildi.

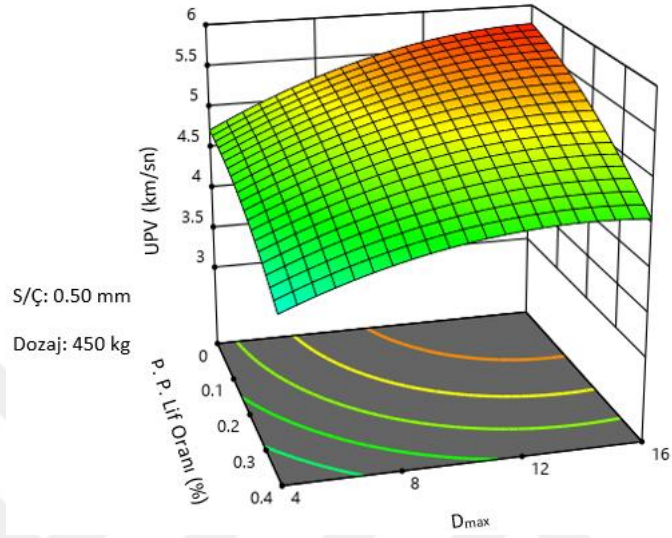


**Şekil 4.18.** Deney parametrelerinin UPV değerine etki oranları

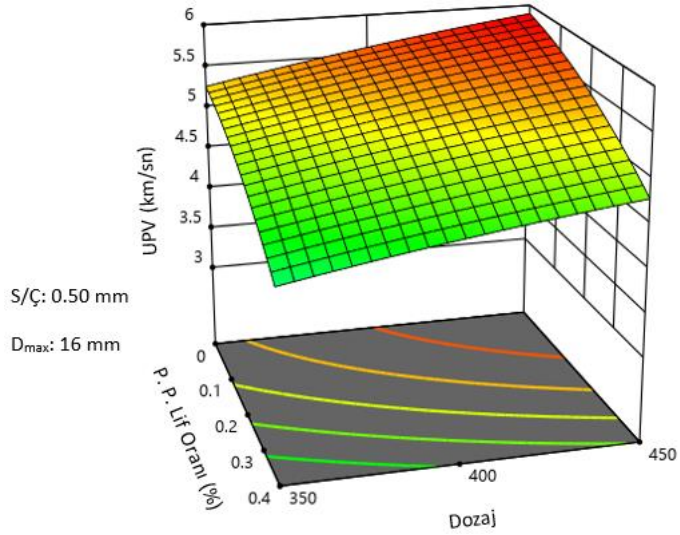
Şekil 4.18 incelendiğinde; % 34 S/Ç oranı, % 26  $D_{max}$ , % 24 P.P. lif oranı ve % 12 dozajın etkisinin olduğu görüldü.

UPV’deki deney parametrelerine göre değişiminin verildiği Şekil 4.19 – Şekil 4.21 deki grafikler incelendiğinde; Çimento dozajı ve agrega çapındaki artışa bağlı olarak UPV değerini

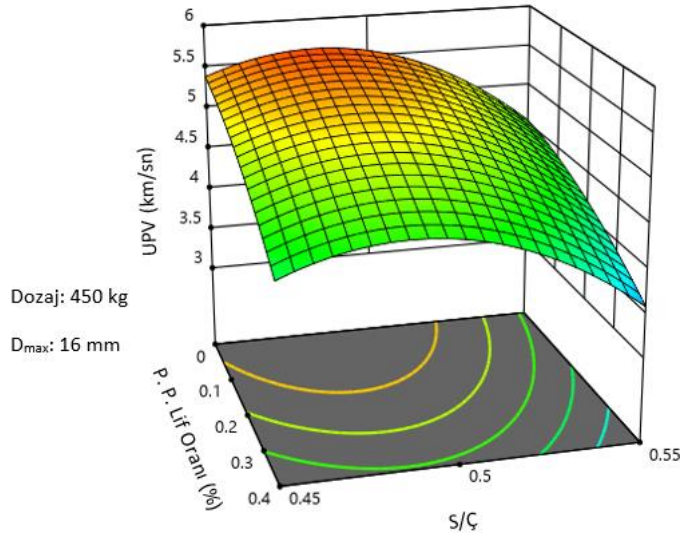
arttırdı. Fakat P.P. lif oranı ve S/Ç oranındaki artış UPV değerini bir noktaya kadar olumlu etkilemesine rağmen belli bir değerden sonra olumsuz etki göstererek UPV değerini düşürdü.



Şekil 4.19. Polipropilen lif oranı ve  $D_{max}$ 'a göre UPV değerindeki değişim



Şekil 4.20. Polipropilen lif oranı ve dozaja göre UPV değerindeki değişim



Şekil 4.21. Polipropilen lif oranı ve s/ç oranına göre UPV değerindeki değişim

UPV deneyindeki parametrelerin optimum seviyeleri, Taguchi analizi ve doğrulama deney sonucu Tablo 4.9’da verildi.

Tablo 4.9. UPV değeri analizi ve doğrulama deney sonuçları

| Deney Parametreleri   | Optimum Parametre Seviyeleri | UPV (km/sn)           |                        |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                       |                              | Taguchi Analiz Sonucu | Doğrulama Deney Sonucu |
| P. P. Lif Oranı (%)   | 0.03                         |                       |                        |
| D <sub>max</sub> (mm) | 16                           | 6.20                  | 5.34                   |
| Dozaj (kg)            | 450                          |                       |                        |
| S/Ç Oranı             | 0.50                         |                       |                        |

Tablo 4.9 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0.03, Dmax 16mm, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda optimum UPV değeri elde edildi. Ayrıca Taguchi Analiz Sonucu ve Doğrulama Deney Sonucu hesaplandı. Bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu anlaşıldı.

#### 4.4. Su Emme Deney Sonuçları

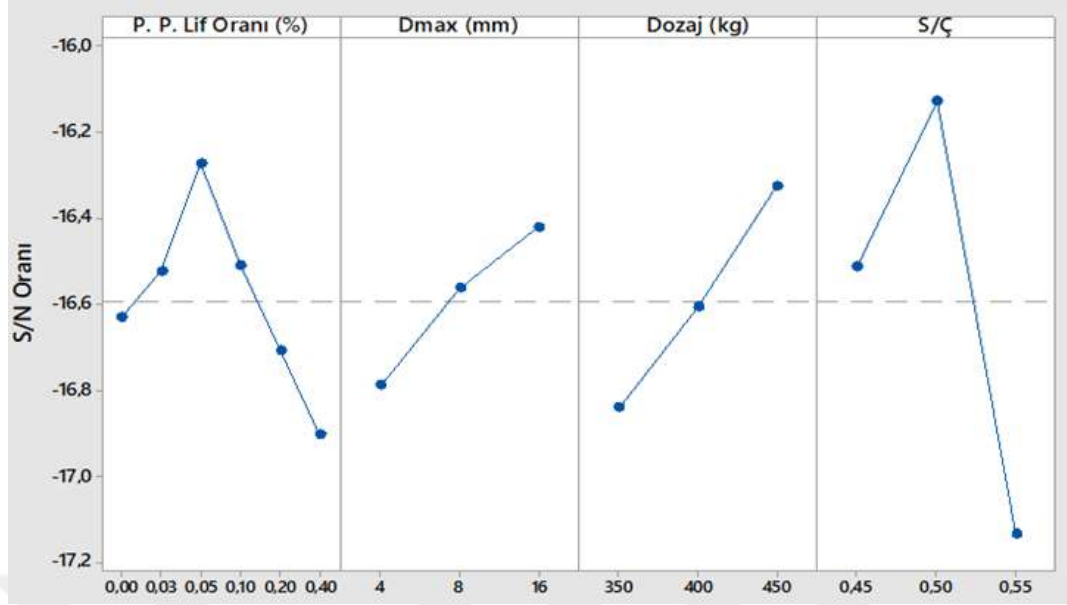
Yapılan deney sonucunda bulunan su emme değerlerinin Taguchi metoduyla analizleri yapıldı. Elde edilen analizler Tablo 4.10’da verildi. Betonun su emme oranının düşük olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En düşük- En iyi durumu dikkate alındı ve Denklem 4.4’de hesaplandı.

$$(S/N) = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (4.4)$$

**Tablo 4.10.** Su emme S/N oranları

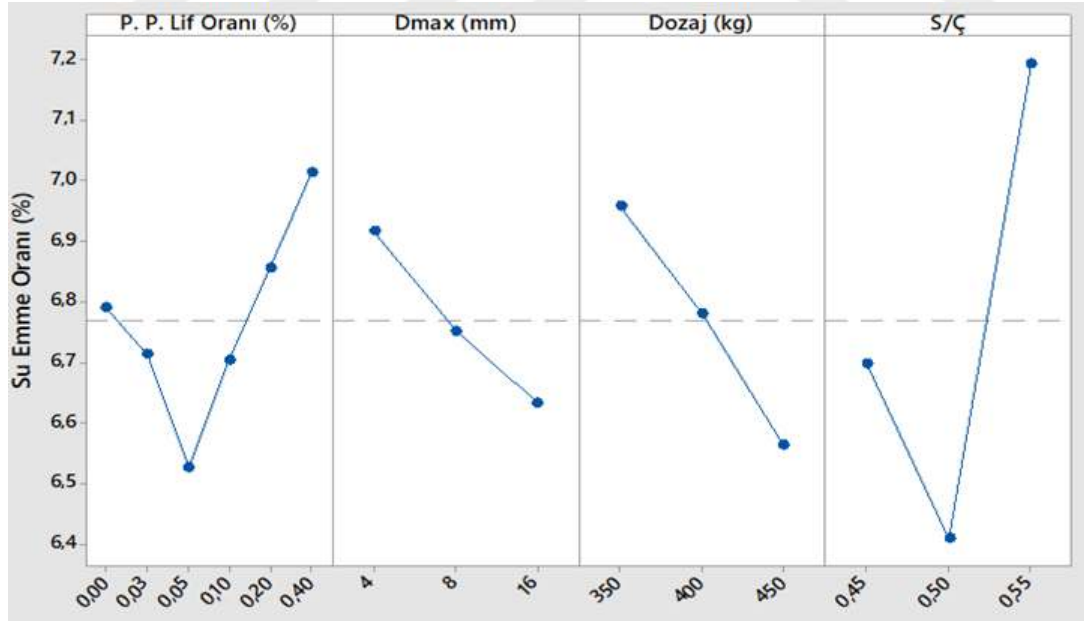
| Seri No | P.P. Lif Oranı (%) | D <sub>max</sub> (mm) | Dozaj (kg) | S/Ç Oranı | Su Emme Oranı (%) | S/N Oranı |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|
| S1      | 0                  | 4                     | 350        | 0.45      | 7.04              | -16.95    |
| S2      | 0                  | 8                     | 400        | 0.50      | 6.43              | -16.16    |
| S3      | 0                  | 16                    | 450        | 0.55      | 6.90              | -16.78    |
| S4      | 0.03               | 4                     | 350        | 0.50      | 6.79              | -16.64    |
| S5      | 0.03               | 8                     | 400        | 0.55      | 7.14              | -17.07    |
| S6      | 0.03               | 16                    | 450        | 0.45      | 6.21              | -15.86    |
| S7      | 0.05               | 4                     | 400        | 0.45      | 6.57              | -16.35    |
| S8      | 0.05               | 8                     | 450        | 0.50      | 5.96              | -15.50    |
| S9      | 0.05               | 16                    | 350        | 0.55      | 7.05              | -16.93    |
| S10     | 0.10               | 4                     | 450        | 0.55      | 7.11              | -17.04    |
| S11     | 0.10               | 8                     | 350        | 0.45      | 6.81              | -16.66    |
| S12     | 0.10               | 16                    | 400        | 0.50      | 6.19              | -15.83    |
| S13     | 0.20               | 4                     | 400        | 0.55      | 7.42              | -17.41    |
| S14     | 0.20               | 8                     | 450        | 0.45      | 6.63              | -16.43    |
| S15     | 0.20               | 16                    | 350        | 0.50      | 6.52              | -16.29    |
| S16     | 0.40               | 4                     | 450        | 0.50      | 6.57              | -16.35    |
| S17     | 0.40               | 8                     | 350        | 0.55      | 7.54              | -17.55    |
| S18     | 0.40               | 16                    | 400        | 0.45      | 6.93              | -16.82    |

Her parametre seviyesine göre S/N oranı ve su emme oranı hesaplandı. Optimum değerler bu sonuçlara göre belirlendi. Parametre seviyelerine göre S/N oranları Şekil 4.22’de, su emme ise Şekil 4.23’de verildi.



Şekil 4.22. Parametre seviyelerine göre su emmede S/N oranları

Şekil 4.22 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0,05,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0,50 olduğu durumlarda en yüksek S/N oranları elde edildiği görüldü.



Şekil 4.23. Parametre seviyelerine göre su emme değerleri

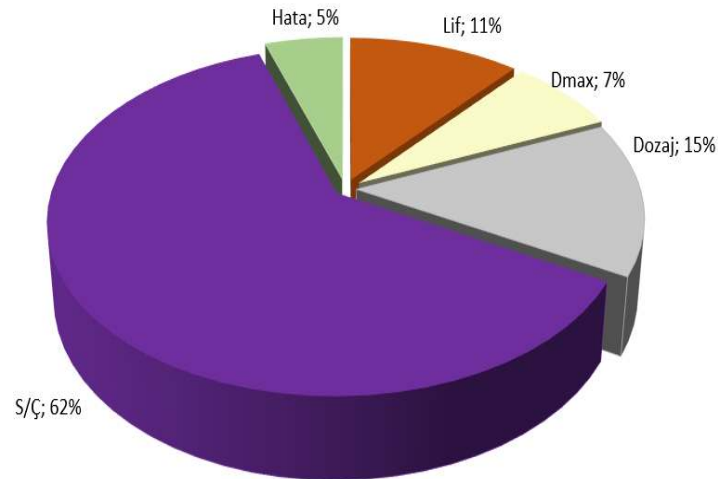
Şekil 4.23 incelendiğinde; P.P. lif oranı 0,05,  $D_{max}$  16, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0,50 olduğu durumlarda en düşük su emme oranları elde edildiği görüldü.

Deney parametrelerinin su emme sonuçları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Varyans Analizi yapıldı. Varyans Analizinde bulunan sonuçlar Tablo 4.11’de verildi. Varyans analiz sonuçlarından F değeri incelendiğinde en büyük değerin S/Ç oranında ( $F=86.99$ ) olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre, en etkili parametrenin S/Ç oranı ve en etkisiz parametrenin ise P.P. Lif oranı olduğu görüldü.

**Tablo 4.11.** Su emme varyans analiz sonuçları

| Deney Parametreleri | Serbestlik Dereceleri | Kareler Toplamı | Varyans | F     | Su Emme Oranına Etki Oranı (%) |
|---------------------|-----------------------|-----------------|---------|-------|--------------------------------|
| P.P. Lif Oranı (%)  | 5                     | 0.68            | 0.14    | 7.61  | 12                             |
| $D_{max}$ (mm)      | 2                     | 0.41            | 0.21    | 11.60 | 7                              |
| Dozaj (kg)          | 2                     | 0.80            | 0.40    | 22.40 | 15                             |
| S/Ç Oranı           | 2                     | 3.09            | 1.54    | 86.99 | 62                             |
| Hata                | 6                     | 0.11            | 0.02    |       | 6                              |
| Total               |                       |                 |         |       | 100                            |

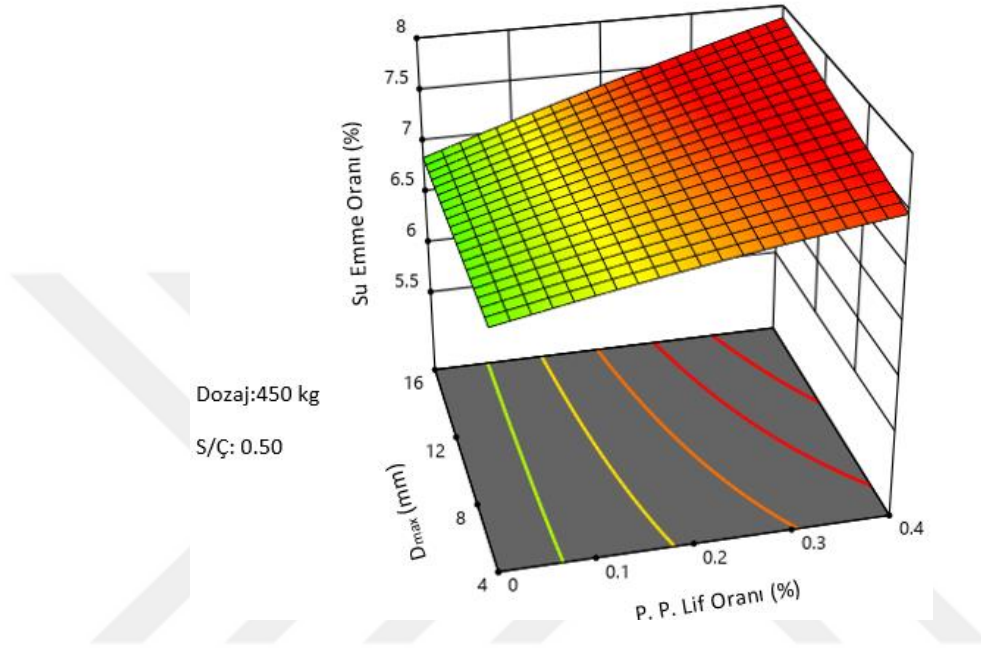
Deney parametrelerinin su emme değerini ne kadar etkilediğini belirlemek için % olarak etki değerleri bulundu. Tablo 4.11’de verilen bu değerler Şekil 4.24’de gösterildi.



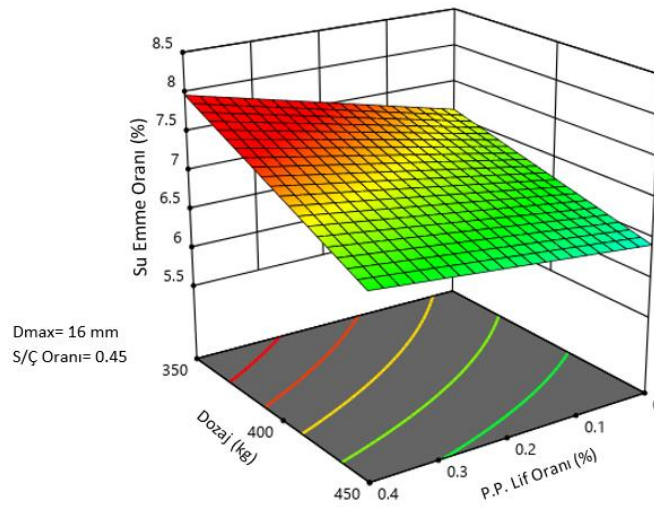
**Şekil 4.24.** Deney parametrelerinin su emme değerine etki oranları

Şekil 4.24 incelendiğinde; % 62 S/Ç oranı, % 7  $D_{max}$ , % 11 P.P. Lif oranı ve % 15 dozajın etkisinin olduğu görüldü.

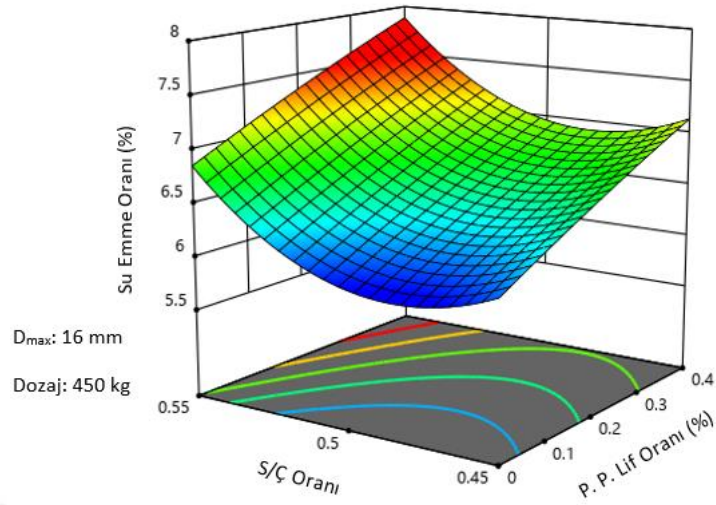
Su emme' deki deney parametrelerine göre değişiminin verildiği Şekil 4.25 – Şekil 4.27 deki grafikler incelendiğinde; P.P. lif oranında artışa bağlı olarak su emme değerini arttırdı. Fakat S/Ç oranındaki artış su emme değerini bir noktaya kadar düşürmesine rağmen belli bir değerden sonra su emme değerini arttırdı.



Şekil 4.25. D<sub>max</sub> ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim



Şekil 4.26. Dozaj ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim



**Şekil 4.27.** S/Ç ve polipropilen lif oranına göre su emme oranındaki değişim

Su emme deneyindeki parametrelerin optimum seviyeleri, Taguchi analizi ve doğrulama deney sonucu Tablo 4.12’de verildi.

**Tablo 4.12.** Su emme oranı analizi ve doğrulama deney sonuçları

| Deney Parametreleri | Optimum Parametre Seviyeleri | Su Emme Oranı (%)     |                        |
|---------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                     |                              | Taguchi Analiz Sonucu | Doğrulama Deney Sonucu |
| P. P. Lif Oranı (%) | 0.05                         |                       |                        |
| $D_{max}$ (mm)      | 16                           | 5.87                  | 6.13                   |
| Dozaj (kg)          | 450                          |                       |                        |
| S/Ç Oranı           | 0.50                         |                       |                        |

Tablo 4.12 incelendiğinde; P.P. Lif oranı 0.05, Dmax 16mm, dozaj 450 ve S/Ç oranı 0.50 olduğu durumlarda optimum su emme oranı elde edildi. Ayrıca Taguchi Analiz Sonucu ve Doğrulama Deney Sonucu hesaplandı. Bu sonuçların birbirine çok yakın olduğu anlaşıldı.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar ve analizler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Deney parametrelerinden agrega çapı ve dozajdaki artış deney sonuçlarını olumlu yönde etkilerken S/ oranındaki artış olumsuz yönde etkiledi. Bu literatür ışığında beklenen bir durumdur.
2. Polipropilen lifin % 0.1 oranına kadar sonuçlarda olumlu olmasına karşın bu orandan sonra özellikle topaklanma sebebiyle sonuçları olumsuz yönde etkiledi. Deneysel alışmalar esnasında ince agregalı karışımlarda lifin iri agregalı karışımlara göre daha homojen dağıldığı gözlemlendi.
3. Taguchi metoduyla yapılan analizler sonucunda tüm deneyler için optimum parametre seviyeleri;  $D_{max}$  16 mm, dozaj 450 kg ve S/ oranı 0.50 olarak bulundu. Optimum lif oranı basınç ve yarmada çekme dayanımı için % 0.10, UPV değeri için % 0.03 ve su emme için % 0.05 olarak belirlendi.
4. Basınç ve yarmada çekme dayanımı için optimum lif oranı % 0.10 olmasına rağmen lif miktarı özellikle yarmada çekme dayanımı sonuçlarında daha fazla etkili olmuştur. Lif oranındaki değişim basınç dayanımında yaklaşık % 9 oranında artış sağlamasına rağmen yarmada çekme dayanımında bu artış yaklaşık % 16 civarı oldu.
5. Deneysel parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileri belirlenmek amaçıyla yapılan varyans analizi neticesinde, S/ oranı % 34-60, dozaj % 12-26,  $D_{max}$  % 7-26 ve lif oranı ise % 12-26 oranlarında etkili olduğu belirlendi.

Yapılan analizler ve deneysel sonuçlar dikkate alındığında, polipropilen lifin özellikle yarmada çekme dayanımında daha etkili olduğu görüldü. Bundan dolayı çekmeye maruz elemanlarda lifin belirlenen optimum oranda (hacimsel olarak % 10) kullanılmasının faydalı olacaktır. Fakat polipropilen lifin betonla aderansının zayıf olması ve optimum oranın üstünde kullanıldığında oluşan topaklanımlardan (homojen dağılım sağlanamaması) dolayı betonda olumsuzluklara sebep olacaktır. Taguchi metoduyla yapılan analizler sonucu elde edilen optimum parametre seviyelerine göre, yapılan doğrulama deney sonucu ile analiz sonucu kıyaslandığında yaklaşık % 90-95 oranlarında yakınsaklık olduğu görüldü. Bundan dolayı Taguchi metodunun bu tip çalışmalarda kullanılmasının güvenli olmasının yanısıra malzeme ve zaman tasarrufu açısından da büyük avantaj sağlayacaktır.

## ÖNERİLER

Çalışmalarda Taguchi metodu kullanılarak optimum değerlere daha kısa sürede ulaşılmasına rağmen elde edilen optimum değerler parametre seviyeleri ile sınırlı kalmaktadır. Taguchi metodu farklı sayısal yöntemlerle birlikte kullanılması halinde ara değerlerdeki optimum sonuca da ulaşılabilir. Bundan dolayı Taguchi metodu yalnız kullanılmak yerine ara değerlerde ulaşabileceğimiz farklı yöntemlerle kullanılmasının daha uygun olacağı kanatindeyiz.



## KAYNAKLAR

- ACI 544. IR- 96, (1996). State of the Art Report On Fibre Reinforced Concrete.
- Afrouhsabet, V. ve Ozbakkaloglu, T. (2015). Mechanical and durability properties of high- strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and building materials*, 94, 73-82.
- Akkaş, A. Alpaslan, L. Arabaci, S. ve Başığit, C. (2010). Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 9-14.
- Alkan, G. (2004). *Polipropilen lifli betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ardeshana, A. L. ve Desai, A. K. (2012). Durability of fiber reinforced concrete of marine structures. *International J. of Eng. Research and Applications*, 2(4), 215-219.
- Arıcı, E. ve Keleştemur, O. (2018). Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Taguchi Metodu İle Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(3), 145-151.
- Alişer, B. Yıldız, S. Arıcı, E. ve Keleştemur, O. (2015). Cam Lif ve Mermer Tozu Takviyeli Çimento Harçlarının Sülfat Direncinin Taguchi Metodu ile Analizi 2. International Sustainable Buildings Symposium, 117-122.
- Bahadır, F. (2010). Polipropilen lifli betonların mekanik özellikleri. *Y. Lisans Tezi*.
- Bayrak, O. Ü. (2018). *Polipropilen lif ve kevlar katkılı yol betonlarının Taguchi yöntemi optimizasyonu* (Doctoral dissertation).
- Box, G. E. ve Bisgaard, S. (1987). *The scientific context of quality improvement* (pp. 54-61). Center for Quality and Productivity Improvement, University of Wisconsin--Madison.
- Can, Ö. Durmuş, G. Subaşı, S. Yıldız, K. ve Arslan, M. (2009). Lif Katkılı Betonların Asınma Direnci Üzerindeki Etkileri.
- Do, M. T. Chaallal, O. ve Aiitcin, P. C. (1993). Fatigue behavior of high-performance concrete. *Journal of Materials in civil Engineering*, 5(1), 96-111.
- Gaimster, R. ve Dixon, N. (2003). Self-compacting concrete. *Advanced concrete technology*, 1-9.
- Gököz, N. Ü. (1978). *Ön yorulmanın yalın ve ince tellerle donatılı betonların özelliklerine etkisi* (Doctoral dissertation, İTÜ).
- Gümüştaş, (2010). <http://www.sarbeton.com.tr/detay=urunlerimiz/urun&icdetay=lifli beton>. (17.1.2013)
- Gündeşli, U. (2008). Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun beton ve çimento katkısı olarak kullanımı üzerine bir kaynak taraması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, Türkiye*.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2003). Taguchi Metodu: Bir Uygulama. *Teknoloji*, 6.
- Islam, G. S. ve Gupta, S. D. (2016). Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 345-354.
- Jun Z, Guang-hui L, Ying Z. (2010). Study on mechanical properties of polypropylene fiber reinforced fine aggregate concrete under action of freeze-thaw.
- Karahan, O. (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi. Adana, 256s).
- Keskin, F. Ş. ve Yıldırım, S. T. (2016). Taguchi Metoduyla Deneysel Tasarım Kullanarak Yalıtımlı Harç için Perlit ve Taban Külü Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(1).

- Kırca, Ö. ve Şahin, M. (2003).** Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi, 5. *Ulusal Beton Kongresi, İstanbul*, 375-382.
- Kiper O, (1996).** Some characteristics of high strength fiberreinforced lightweight aggregate concrete. *Cem Concr Compos*;25:207–13.
- Logothesis, N. (1992).** Managing for total quality, from deming to taguchi and spc.
- Mardani-Aghabaglou, A. Altun, M. G. ve Yılmaz, G. (2017).** Polipropilen Lif Kullanım Oranının Beton Karışımlarının Dayanımına Etkisi.
- Morris, W. Vico, A. Vazquez, M. ve De Sanchez, S. R. (2002).** Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurements. *Corrosion Science*, 44(1), 81-99.
- Mostofinejad D. (2004).** Polipropilen Liflerin Etkisi Betonun Rötre Çatlaklarında ve İşlenebilirliğinde, İsfahan inşaat Mühendislik Fakültesi, İsfahan, İran.
- Nili, M. ve Afroughsabet, V. (2010).** The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(6), 927-933.
- Öktem, H. (2012).** Optimum process conditions on shrinkage of an injected-molded part of DVD-ROM cover using Taguchi robust method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 519-528.
- Peace, G.S. (1992).** *Taguchi Methods, A Hands-On Approach*. Addison-Wesley Publishing Company, inc. ISBN 0-201-56311-8.
- Pelisser, F. Neto, A. B. D. S. S. La Rovere, H. L. ve De Andrade Pinto, R. C. (2010).** Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking. *Construction and building materials*, 24(11), 2171-2176.
- Ramroom, A. A. M. (2020).** Taguchi Metodu İle Üretilen Ultra Yüksek Performanslı Betonda (Uypb) Mineral Katkıların Etkisi Ve Optimizasyonu (Doctoral Dissertation, Kastamonu Üniversitesi).
- Saat, M. (2000).** Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(3).
- Saeed, A. (1996).** A Study on Properties of Polypropylene Fiber. *ACI Mater K* 2005:75.
- Sağlık, A. ve Kocabeyler, M. F. (1998).** Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonların Performans Özellikleri. *Beton-Çimento ve Boya Sempozyumu*, Ankara, 133-148.
- Serrano, R. Cobo, A. Prieto, M. I. ve De las Nieves González, M. (2016).** Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers. *Construction and building materials*, 122, 302-309.
- Singh, S. P. ve Kaushik, S. K. (2003).** Fatigue strength of steel fibre reinforced concrete in flexure. *Cement and concrete composites*, 25(7), 779-786.
- Song, P. S. Hwang, S. ve Sheu, B. C. (2005).** Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1546-1550.
- Soylak, M. (2000).** Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım ve Taguchi Yöntemi. *Erciyes Üniv. Fen Bil. Ens. YL Tezi, Kayseri*.
- Subaşı, S. ve Emiroğlu, M. (2008).** Lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki analizi. *Fırat Üniv. Fen Ve Müh. Bil. Dergisi*, (3), 527-539.
- Şirvancı, M. (1997).** *Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguchi Yaklaşımı"*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Tokuyay, M. Ramyar, K. ve Turanlı, L. (1991).** Polipropilen ve çelik lifli yüksek dayanımlı betonların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışları, 2. *Ulusal Beton Kongresi, İstanbul-Türkiye*, 303-311.

**Uğurlu, A. (1994).** Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. *DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Dairesi Başkanlığı*, Yayın No: MLZ-878, Ankara,175s.

URL-1. (2020). Agrega. Erişim: 6 Ağustos 2020. <https://insapedia.com/agrega-deneyleri>,

URL-2. (2020). Lif. Erişim: 6 Ağustos 2020. <https://betonfiber.com>,

URL-3. (2020). Lif. Erişim: 6 Ağustos 2020. <https://www.indiamart.com/proddetail/polypropylene-fibers-2475811388.html>,

**Yıldırım, S. T. (2002).** *Lif takviyeli betonların performans özelliklerinin araştırılması*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.

**Yiğiter, H. (2002).** ‘‘Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, , 207s, İzmir.



# ÖZGEÇMİŞ

[Redacted]

## KİŞİSEL BİLGİLER

---

## ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

---

[Redacted] [Redacted]  
[Redacted] [Redacted]

## EĞİTİM BİLGİLERİ

---

**Yüksek Lisans** : Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2018-  
**Lisans** : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2014-  
2018  
**Lise** : Vakıfbank Zübeyde Hanım Anadolu Lisesi, Karabük, 2010-2014