

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DOĞAL VE YAPAY ELYAFLAR İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
PUZOLAN İKAMELİ ALÇI SIVALARIN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Şevval BALOĞULLARI

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yapı Malzemeleri Bilim Dalı

TEMMUZ 2023

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

DOĞAL VE YAPAY ELYAFLAR İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ PUZOLAN
İKAMELİ ALÇI SIVALARIN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tez Yazarı
Şevval BALOĞULLARI

Danışman
Prof. Dr. Servet YILDIZ

TEMMUZ 2023
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Doğal ve Yapay Elyaflar ile Güçlendirilmiş Puzolan İkameli Alçı Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi
Yazarı:	Şevval BALOĞULLARI
İlk Teslim Tarihi:	08.06.2023
Savunma Tarihi:	05.07.2023

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:	Prof. Dr. Servet YILDIZ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Bahar DEMİREL Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

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

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Doğal ve Yapay Elyaf lar ile Güçlendirilmiş Puzolan İkameli Alçı Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ” 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.

05.07.2023

Şevval BALOĞULLARI



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübeleriyle bana yol gösteren, çalışmalarımı takip edip yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Servet YILDIZ'a en içten dileklerimle teşekkür eder, saygılar sunarım.

Çalışmam boyunca bilgisini, fikirlerini, zamanını benden esirgemeyen ve her aşamada bana yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Malzeme temininde yardımcı olan Eti Krom A.Ş., Aslanlı Holding, Ege Bims, OYAK Çimento yetkililerine ve Samsun ili Narlısaray mahallesi muhtarı Ali SEZGEN'e teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Aslanlı Alçı laboratuvar yetkilileri Semih Bey ve Samet Bey'e, deneysel çalışmalarında desteğini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Kübra KARABULUT ve Hilal ASLAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana desteğini her zaman hissettiren, sabırla yanımda olan ve başarılarımla gurur duyan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Şevval BALOĞULLARI
ELAĞIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Alçı.....	1
1.1.1. Alçının Tarihçesi ve Yapı Sektöründe Kullanımı	2
1.1.2. Alçının Kimyasal Özellikleri.....	3
1.1.3. Alçının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	4
1.2. Puzolanlar.....	5
1.2.1. Puzolanların Sınıflandırılması.....	6
1.2.2. Doğal Puzolanlar	6
1.2.2.1. Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar	6
1.2.2.2. Isıl İşlem Görmüş Doğal Puzolanlar	7
1.2.3. Yapay Puzolanlar	7
1.2.3.1. Uçucu Kül.....	7
1.2.3.2. Silis Dumanı	8
1.2.3.3. Yüksek Fırın Cürufu	8
1.2.3.4. Pirinç Kabuğu Külü	8
1.3. Elyaf lar	8
1.3.1. Elyaf ların Sınıflandırılması	9
1.4. Taguchi Metodu.....	11
1.4.1. Taguchi Sinyal/Gürültü Oranları	11
1.5. Literatür Özeti	12
2. MATERYAL VE METOD.....	17
2.1. Materyal.....	17
2.1.1. Alçı.....	17
2.1.2. Yüksek Fırın Cürufu.....	17
2.1.3. Silis Dumanı	18
2.1.4. Cam Elyaf.....	19
2.1.5. Kenevir Elyaf	20
2.1.6. Pomza	20
2.1.7. Tartarik Asit	21
2.2. Metod.....	21
2.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi	21
2.2.2. Numunelerin Hazırlanması.....	22
2.3. Taze ve Sertleşmiş Haldeki Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler	24
2.3.1. Taze Haldeki Alçı Sıvalar Üzerinde Yapılan Deneyler	24
2.3.1.1. Yayılma Tablası Deneyi	24

2.3.1.2. Priz Süresi Tayini	25
2.3.2. Sertleşmiş Haldeki Alçı Sıvalar Üzerinde Yapılan Deneyler	26
2.3.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi	26
2.3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi	27
2.3.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	27
2.3.2.4. Kapiler Su Emme Deneyi	28
2.3.2.5. Birim Ağırlık Deneyi	29
2.3.2.6. SEM-EDS-XRD Analizleri	30
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
3.1. Alçı Sıva Karışımlarının Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi	31
3.1.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları	31
3.1.2. Priz Başlangıç Süresi Tayini Deney Sonuçları	34
3.2. Alçı Sıva Numunelerinin Sertleşmiş Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi	37
3.2.1. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları	38
3.2.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	46
3.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları	53
3.2.4. Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları	58
3.2.5. Birim Ağırlık Deney Sonuçları	63
3.2.6. SEM-EDS Analizi Sonuçları	66
3.2.7. XRD Analiz Sonuçları	73
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Doğal ve Yapay Elyafı ile Güçlendirilmiş Puzolan İkameli Alçı Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Şevval BALOĞULLARI

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Programı
Temmuz 2023, Sayfa: xiii + 82

Ülkemizdeki zengin alçı taşı rezervi, kolay üretim yöntemleri ve düşük maliyetinden dolayı alçının daha geniş kullanım alanı bulması hem ekonomik açıdan hem de enerji tasarrufu açısından önemlidir; insanlık tarihinde kullanılan en eski yapı malzemelerinden biri olan alçı, iyi bir ses ve ısı yalıtkanı olmasına karşın düşük mekanik özellikleri ile karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında alçıya farklı oranlarda silis dumanı, yüksek fırın cürufu, kenevir lifi ve cam lifi eklenerek, mekanik özellikleri ve suya karşı direnci yüksek olan alçı sıvalar elde etmek hedeflenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak karışım oranları belirlenmiş ve böylece daha az deney sayısı ile daha çok parametrenin analizi yapılmış, kapsamlı sonuçlar elde edilmiştir. Taguchi metodunun kullanılması zaman ve malzeme tasarrufu sağlaması açısından çalışmaya değer katmaktadır.

Çalışmada silis dumanı ve yüksek fırın cürufu %0, %10, %20, %30 oranlarında, kenevir lifi ve cam lifi %0, %0,2, %0,4, %0,6 oranlarında kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.6 ve 0.7 olarak değişken tutulmuştur. Alçı sıvaların işlenebilirliğini test edebilmek için taze haldeki karışımlar üzerinde yayılma tablası ve priz süresi tayini deneyleri yapılmıştır. Üretilen alçı sıva numuneleri üzerinde ise eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmış, sonuçlar Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin mikro yapı incelemelerinde SEM, EDS ve XRD analizlerinden faydalanılarak mineralojik ve morfolojik özellikler tanımlanmıştır.

Elde edilen verilere göre puzolan katkısının; basınç ve eğilme dayanımlarında düşüşe sebep olduğu fakat kapiler boşlukları doldurmada iyileştirici etkisi olduğu belirlenmiştir. Lif katkısı arttıkça 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alçı, Yüksek Fırın Cürufu, Silis Dumanı, Lif, Taguchi Metodu

ABSTRACT

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Pozzolan Substituted Gypsum Plasters Strengthened with Natural and Artificial Fibers

Şevval BALOĞULLARI

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering
Civil Engineering Technologies
July 2023, Pages: xiii + 82

Due to the rich gypsum reserve in our country, easy production methods and low cost, it is important for gypsum to find a wider area of use both in terms of economy and energy saving; plaster, which is one of the oldest building materials used in human history, is a good sound and heat insulator, but with low mechanical properties.

In this thesis, it is aimed to obtain gypsum plasters with high mechanical properties and water resistance by adding silica fume, blast furnace slag, hemp fiber and glass fiber to gypsum at different rates. Mixing ratios were determined using the Taguchi method, and thus, more parameters were analyzed with less number of experiments, and comprehensive results were obtained. The use of the Taguchi method adds value to the study in terms of saving time and materials.

In the study, silica fume and blast furnace slag were used at the rates of 0%, 10%, 20%, 30%, hemp fiber and glass fiber 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%. The water/binder ratio was kept variable as 0.6 and 0.7. In order to test the workability of gypsum plasters, spreading table and setting time tests were carried out on fresh mixtures. Flexural strength, compressive strength, ultrasound transmission rate, capillary water absorption and unit weight tests were performed on the produced gypsum plaster samples, and the results were analyzed by the Taguchi method. In addition, mineralogical and morphological properties were defined by using SEM, EDS and XRD analyzes in the microstructure examinations of the produced samples.

According to the data obtained, the contribution of pozzolan; It has been determined that it causes a decrease in compressive and flexural strengths, but has a healing effect in filling capillary spaces. As the fiber additive increased, the flexural strength values of 7 and 28 days increased.

Keywords: Gypsum, Blast Furnace Slag, Silica Fume, Fiber, Taguchi Method

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Alçı Taşı	2
Şekil 1.2. Harput Ulu Cami Avlu Mihrabı [6]	3
Şekil 1.3. Puzolanların Sınıflandırılması	6
Şekil 1.4. Elyafaların Sınıflandırılması [28]	9
Şekil 2.1. Alçı	17
Şekil 2.2. Yüksek Fırın Cürufu	18
Şekil 2.3. Silis Dumanı	19
Şekil 2.4. Çalışmada Kullanılan E-Cam Elyafa ait Görüntü	19
Şekil 2.5. Çalışmada Kullanılan Kenevir Elyafa ait Görüntü	20
Şekil 2.6. Çalışmada Kullanılan Pomzaya ait Görüntü	21
Şekil 2.7. Deneylerde Kullanılan 4x4x16 ve 5x5x5 Çelik Kalıplar	23
Şekil 2.8. Hazırlanan Kuru Karışım ve Deneylerde Kullanılan Hobart Mikseri	23
Şekil 2.9. Nemli Ortamda ve Ettüvde Bekletilen Numuneler	24
Şekil 2.10. Yayılma Tablası Deneyi	25
Şekil 2.11. Vicat Aleti ile Priz Süresi Belirlenmesi	26
Şekil 2.12. Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği	26
Şekil 2.13. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi	27
Şekil 2.14. Kapiler Su Emme Deney Düzeneği [51]	28
Şekil 2.15. Arşimet Terazisi	29
Şekil 2.16. Kaplama ve SEM Cihazı	30
Şekil 3.1. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Yayılma Çapı Değerleri	31
Şekil 3.2. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Yayılma Değerlerine Etkisi	32
Şekil 3.3. Cam Lifi ve Su/Bağlayıcı Parametrelerini Yayılma Değerlerine Etkisi	33
Şekil 3.4. Kenevir Lifi ve Su/Bağlayıcı Parametrelerini Yayılma Değerlerine Etkisi	33
Şekil 3.5. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Priz Süreleri	35
Şekil 3.6. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Priz Süresine Etkisi	36
Şekil 3.7. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Priz Süresine Etkisi	36
Şekil 3.8. 7 ve 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri	38
Şekil 3.9. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri ..	40
Şekil 3.10. Parametre Seviyelerine Göre 7 Günlük Eğilme Dayanımına Ait S/N Oranları	40
Şekil 3.11. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri	42

Şekil 3.12. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri	43
Şekil 3.13. Parametre Seviyelerine Göre 28 Günlük Eğilme Dayanımına Ait S/N Oranları	44
Şekil 3.14. Tahmini ve Gerçek 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri	45
Şekil 3.15. 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	47
Şekil 3.16. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	48
Şekil 3.17. Parametre Seviyelerine Göre 7 Günlük Basınç Dayanımına Ait S/N Oranları	48
Şekil 3.18. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	50
Şekil 3.19. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	51
Şekil 3.20. Parametre Seviyelerine Göre 28 Günlük Basınç Dayanımına Ait S/N Oranları	51
Şekil 3.21. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	53
Şekil 3.22. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	54
Şekil 3.23. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	55
Şekil 3.24. Parametre Seviyelerine Göre Ultrases Geçiş Hızına Ait S/N Oranları	56
Şekil 3.25. Tahmini ve Gerçek Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	57
Şekil 3.26. N1 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları	59
Şekil 3.27. N2 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları	59
Şekil 3.28. N3 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları	59
Şekil 3.29. N4 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları	60
Şekil 3.30. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birincil Kapiler Su Emme Katsayısına Etkisi	61
Şekil 3.31. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin İkincil Kapiler Su Emme Katsayısına Etkisi	61
Şekil 3.32. Alçı Sıva Numunelerinin Birim Ağırlık Değerleri	64
Şekil 3.33. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birim Ağırlık Değerlerine Etkisi	64
Şekil 3.34. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birim Ağırlık Değerlerine Etkisi	65
Şekil 3.35. N1 Serisine Ait SEM Görüntüleri	67
Şekil 3.36. N1 Serisine Ait EDS Analizi	67
Şekil 3.37. N2 Serisine Ait SEM Görüntüleri	68
Şekil 3.38. N2 Serisine Ait EDS Analizi	69
Şekil 3.39. N9 Serisine Ait SEM Görüntüleri	69
Şekil 3.40. N9 Serisine Ait EDS Analizi	70
Şekil 3.41. N11 Serisine Ait SEM Görüntüleri	71
Şekil 3.42. N11 Serisine Ait EDS Analizi	71
Şekil 3.43. N12 Serisine Ait SEM Görüntüleri	72

Şekil 3.44. N12 Serisine Ait EDS Analizi.....	73
Şekil 3.45. N1 Serisine Ait XRD Difraktogramı.....	73
Şekil 3.46. N2 Serisine Ait XRD Difraktogramı.....	74
Şekil 3.47. N9 Serisine Ait XRD Difraktogramı.....	75
Şekil 3.48. N11 Serisine Ait XRD Difraktogramı.....	75
Şekil 3.49. N12 Serisine Ait XRD Difraktogramı.....	76



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Seperator Çıkışı Alçıya Ait Fiziksel Özellikler	17
Tablo 2.2. Seperator Çıkışı Alçıya Ait Teknik Özellikler.....	17
Tablo 2.3. Yüksek Fırın Cürufuna Ait Kimyasal Özellikler	18
Tablo 2.4. Silis Dumanına Ait Kimyasal Özellikler	18
Tablo 2.5. Cam Elyafa Ait Fiziksel Özellikler.....	19
Tablo 2.6. Kenevir Elyafa Ait Fiziksel Özellikler	20
Tablo 2.7. Deney Parametreleri ve Seviyeleri.....	22
Tablo 2.8. Numunelerin Karışım Oranları	22
Tablo 3.1. Alçı Sıva Harçlarının Yayılma Çapı Değerleri	31
Tablo 3.2. Yayılma Değerleri İçin Varyans Analizi Sonuçları	34
Tablo 3.3. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Priz Süresi Değerleri	35
Tablo 3.4. Priz Süresi İçin Varyans Analizi Sonuçları.....	37
Tablo 3.5. Alçı Sıva Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri.....	38
Tablo 3.6. Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Eğilme Dayanımları ve S/N Oranları	39
Tablo 3.7. 7 Günlük Eğilme Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları	41
Tablo 3.8. Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımları ve S/N Oranları	43
Tablo 3.9. 28 Günlük Eğilme Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları	44
Tablo 3.10. Alçı Sıva Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri	46
Tablo 3.11. Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımları ve S/N Oranları.....	47
Tablo 3.12. 7 Günlük Basınç Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları.....	49
Tablo 3.13. Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımları ve S/N Oranları.....	50
Tablo 3.14. 28 Günlük Basınç Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları.....	52
Tablo 3.15. Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	54
Tablo 3.16. Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri ve S/N Oranları	55
Tablo 3.17. Ultrases Geçiş Hızı Değerlerine Ait Varyans Analizi Sonuçları	56
Tablo 3.18. Alçı Sıva Numunelerinin Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları.....	58
Tablo 3.19. Birincil Kapilerite Katsayısına Ait Varyans Analizi Değerleri.....	61
Tablo 3.20. İkincil Kapilerite Katsayısına Ait Varyans Analizi Değerleri	62
Tablo 3.21. Alçı Sıva Numunelerinin Birim Ağırlık Deneyleri.....	63
Tablo 3.22. Birim Ağırlık Değerlerine Ait Varyans Analizi Sonuçları.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ	: Eğilme dayanımı
Po	: Numunelerin kuru birim hacim ağırlığı (gr)
P1	: Numunelerin doygun birim hacim ağırlığı (gr)
P2	: Numunelerin su içerisindeki birim hacim ağırlıkları
L	: Uzaklık
P	: Numunenin kırıldığı anda etki eden kuvvet (N)
k	: Kapilarite katsayısı
Q	: Numunenin emdiği su miktarı

Kısaltmalar

SiO ₂	: Silisyum Dioksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
Fe ₂ O ₃	: Demir Oksit
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
XRD	: X-ışını Difraktometresi
MgO	: Magnezyum Oksit
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
μ s	: Mikro Saniye
mm	: Milimetre
°C	: Santigrat
cm	: Santimetre
g	: Gram
dtex	: Desidex
MPa	: Megapascal
kN	: Kilonewton
rPET	: Polietilen Tereftalat
ASTM	: American Society for Testing And Materials
MK	: Metakaolin
BA	: Bazalt Elyaf

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan nüfusa bağlı olarak artan ihtiyaçlar, her alanda olduğu gibi yapı sektöründe de yenilikçi üretimleri mecbur kılmıştır. Bu kapsamda insanlık tarihinin kullanılan en eski yapı malzemelerinden olan alçı, doğada bulunan hammadde fazlalığı, kolay ve ucuz üretim yöntemiyle ön plana çıkmaktadır.

Dünyada işletilebilir üç milyar tonun üzerinde alçı rezervi olduğu, bu rezervin büyük çoğunluğunun Amerika kıtasında olduğu düşünülmektedir. Ülkemizde de yüksek miktarda alçı taşı rezervi olduğu ve bu rezervlerin genel olarak Orta Anadolu, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde olduğu bilinmektedir [1].

Ülkemizdeki zengin alçı taşı rezervi, kolay üretim yöntemleri ve düşük maliyetinden dolayı alçının daha geniş kullanım alanı bulması hem ekonomik açıdan hem de enerji tasarrufu açısından önemlidir.

Alçı, iyi bir ısı ve ses yalıtkanı olmasına karşın, düşük mekanik özellikleri ve suya karşı dayanıksızlığı ile karşımıza çıkmaktadır. Alçının kullanım alanlarını genişletebilmek, mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek ile mümkün olacaktır. Bu kapsamda daha önce yapılan çalışmalarda alçıya çeşitli katkıları eklenmiş ve özellikler incelenmiştir [2].

Bu tez çalışmasında alçıya farklı oranlarda silis dumanı, yüksek fırın cürufu, kenevir lifi ve cam lifi eklenerek, mekanik özellikleri ve suya karşı direnci yüksek olan alçı sıvalar elde etmek hedeflenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak karışım oranları belirlenmiş ve böylece daha az deney sayısı ile daha çok parametrenin analizi yapılmış, kapsamlı sonuçlar elde edilmiştir. Taguchi metodunun kullanılması zaman ve malzeme tasarrufu sağlaması açısından çalışmaya değer katmaktadır.

Ayrıca çevreye zarar veren silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıkların kullanımı ve geri dönüşümü atık yönetimi açısından önemlidir. Bu çalışmada alçı sıvaların özellikleri iyileştirilmeye çalışılırken atık malzeme kullanımına öncelik verilmiştir.

1.1. Alçı

Alçı, alçı taşının kızdırılarak bünyesindeki suyun tamamını ya da tamamına yakını kaybedip, öğütülmesi ile oluşan bağlayıcı bir yapı malzemesidir. Alçı taşı doğada, bazen susuz kalsiyum sülfat (CaSO_4) yani “anhidrit” olarak bazen de bünyesinde iki molekül su bulunduran kalsiyum sülfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yani “jips” olarak karşımıza çıkar. Jips doğada daha yaygın olarak bulunmaktadır. Alçı taşı, kızdırılma ile bünyesindeki suyun yaklaşık 3/4’ünü kaybeder. Tekrar su ile karşılaştığı zaman kaybettiği suyu tekrar bünyesine alır ve eski formuna dönüşür [3]. Doğada bulunan alçı taşı Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Alçı Taşı

Alçı üretim yöntemine göre ikiye ayrılır. Alçı taşı, basınçlı ortamda işlem görürse alfa yarım hidrat denilen alfa (α) alçısı, basınçlı ortamda işlem görmezse beta yarım hidrat denilen beta (β) alçısı elde edilir. α alçısı, kimyasal açıdan β alçısıyla aynı olmasına rağmen basınç dayanımı, çekme dayanımı ve aşınmaya karşı dayanıklılığı çok daha iyidir, daha az suya ihtiyaç duyar. α alçısı kristal yapısının daha düzgün olması sebebiyle daha kolay işlenebilme olanağına sahiptir ve çoğunlukla dış, seramik kalıbı gibi kalıplama işlemlerinde kullanılır. β alçısı ise genellikle inşaat işlerinde kullanılır [4].

Dünyada işletilebilir 3 milyar tonun üzerinde alçı rezervi olduğu, bu rezervin büyük çoğunluğunun Amerika kıtasında olduğu düşünülmektedir. Ülkemizde de yüksek miktarda alçı taşı rezervi olduğu ve bu rezervlerin genel olarak Orta Anadolu, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde olduğu bilinmektedir.

1.1.1. Alçının Tarihçesi ve Yapı Sektöründe Kullanımı

Tarihi insanlık kadar eskiye dayanan alçının ilk olarak M.Ö 9000’li yıllarda Çatakhöyük’te sıva yapımında kullanıldığı bilinmektedir [1]. Eski Anadolu Uygarlıklarında harç malzemesi olmanın yanında, dekoratif bitirme malzemesi olarak ve yollarda kullanıldığı, Mısır piramitlerinde ve firavun mezarlarında bağlayıcı olarak kullanıldığı mevcut bilgiler arasındadır. Orta çağ Avrupa’sında tuğla ve taş örgüsünde harç malzemesi olarak, orta çağ sonu Anadolu ve İran yapılarında kerpiç yapılarda kireç ile birlikte kullanıldığı görülmüştür [5]. Anadolu Selçuklu’ da islam mimarisinde de alçının yaygın kullanıldığı bilinmektedir. Harput Ulu Cami avlu mihrabında kullanılan alçı işlemler Şekil 1.2’de gösterilmektedir.

Rönesans ressam ve mimarları alçıyı önce iç daha sonraları dış cephelerde kullanmışlardır. 1966 Londra yangını alçı kullanımının genişlemesi açısından önemli bir dönüm noktası olmuştur. Yangın sırasında alçının ahşap yapıları koruduğu gözlemlenmiş ve kullanımı Paris’de zorunlu hale getirilmiştir. Bu nedenle sıva alçısına “Paris Alçısı” adı verilmiştir [1].



Şekil 1.2. Harput Ulu Cami Avlu Mihrabı [6]

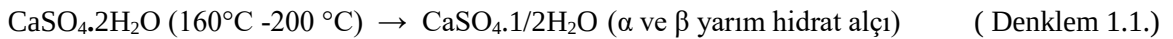
Yapı Sektöründe Kullanılan Alçılar

Tamirat işlerinde, ince sıva, kalıp yapma, sıva ve süsleme işlerinde duvar kaplamaları ve yapı elemanlarında kullanılan alçılardır.

- Normal Alçı: Alçı taşının öğütülerek bünyesindeki iki molekül suyun 3/4 oranında giderilmesi ile elde edilen beta hemihidrat yapı alçısıdır.
- Katkılı Normal Alçı: β alçısına kullanım amacına göre mevcut özelliğini iyileştirmek için çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesi ile elde edilen yapı alçısıdır. Priz geciktiriciler, dolgular, yapı kireci, lifler, hava sürükleyiciler bu katkılara örnek olarak verilebilir [7].
- Susuz Alçı: Alçı taşının öğütülerek bünyesinde bulunan 2 molekül suyun tamamen giderilmesi ile elde edilen beta hemihidrat yapı alçısıdır. Döşeme alçıları bu tür alçılara örnek verilebilir.
- Katkılı Susuz Alçı: Susuz alçının kullanım amacına göre mevcut özelliğini iyileştirmek için çeşitli katkı maddeleri ilavesi elde edilen yapı alçısıdır.
- Saten Alçı: Alçı sıva kaplanmış duvarlara veya beton yüzeylere uygulanabilen, yüzeyi kullanıma hazır hale getirmek için kullanılan, perdah alçısı olarak bilinen yapı alçısıdır [8].

1.1.2. Alçının Kimyasal Özellikleri

Alçı, jips olarak bilinen bünyesinde iki molekül su bulunduran kalsiyum sülfat dihidratın kızdırılarak bünyesindeki suyun 3/4'ünü kaybedip öğütülmesi ile oluşan bağlayıcı bir yapı malzemesidir. Alçı taşından suyun uçurulmasına dehidrasyon denir. Alçı taşından suyun uçurulması iki safha gerçekleşir. Bu safhalar Denklem 1.1 ve Denklem 1.2'de verilmiştir.



Alçı taşının 160°C - 200 °C sıcaklıklar arasında kızdırılmasıyla, birinci safhada oluşan madde yarım hidrattır ve ürün yapı alçısı olarak isimlendirilir, ikinci safhada oluşan ürün ise anhidrittir [9].

Alçı su ile karşılaştığında kızdırma sonucu kaybettiği suyu tekrar bünyesine alır ve katılır. Bu olay hidrasyon olarak adlandırılır. Hidrasyon olayı Denklem 1.3 ve Denklem 1.4’de gösterilmektedir [10].



Alçı hamurunun, işlenebilir kaldığı süreye “işleme süresi”, sertleşmenin başladığı ana “priz başlangıcı”, sertleşmenin bittiği ana ise “priz sonu” denilir. Alçı katıldıktan sonra belirli bir sıcaklık artışı gösterir ve su ile yaptığı reaksiyon sona erer. Bu ana “hidrasyon” sonu denilir [11].

1.1.3. Alçının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Alçının özgül ağırlığı, üretim şekline ve çeşidine göre farklılık gösterirken, alçı taşının özgül ağırlığı 2,3 gr/cm³ olarak bilinmektedir. Alçı, 1,5 - 2,5 arası sertliğe sahiptir ve yumuşak mineral olarak değerlendirilmektedir.

TS EN 13279-1’e göre adi alçının, 200 µm açıklığındaki eleğin üzerinde, ağırlıkça %35’den fazlasının, katkılı adi alçı, susuz ve katkılı susuz alçının ise 1,25 mm açıklığındaki eleğin üzerinde ağırlıkça %1’den fazlasının kalmaması gerekmektedir. Alçının inceliğinin hidrasyon üzerinde etkili bir parametre olduğu bilinmektedir [12].

Alçının priz süresi, alçı cinsi, katkı malzemesi ve su/bağlayıcı oranına göre farklılık göstermektedir. TS EN 13279-1’e göre alçının priz süresinin, adi alçıda 8 dakikadan kısa, alçı sıvada 30 dakikadan kısa, katkılı adi alçıda, susuz alçıda ve katkılı susuz alçıda 20 dakikadan kısa olmaması gerekmektedir [12].

Alçı yapı elemanı, içeriğinde bulunan çok küçük boşluklar sayesinde sesi karşı tarafa geç ilettiğinden ses yalıtımı özelliği vardır. Akustik amaçlarla üretilmiş elemanlar yardımı ile ses yalıtımına olanak sağlanabilir [13].

Alçının mekanik mukavemeti üzerinde pek çok parametre etkilidir. En önemli parametre su/bağlayıcı oranıdır. Su/bağlayıcı oranında, su miktarı arttıkça gözenekli ve boşluklu bir yapı oluştuğu için alçının basınç ve eğilme dayanımında azalma meydana gelmektedir. Alçının basınç dayanımı, eğilme dayanımının yaklaşık üç katıdır.

Alçının ısı iletkenlik değeri, doğal malzemeler arasında ahşaba çok yakındır, dolayısıyla diğer doğal malzemelere göre daha az ısı iletir. Alçı, ısı iletkenliği düşük olduğundan yüzeylerin yoğunlaşmasını geciktirir.

Alçının önemli özelliklerinden biri yangın önleme özelliğidir. Alçının bünyesinde bulunan %20 oranındaki bağlı su, 80°C ile 110°C sıcaklıklar arasında yangın başlamadan açığa çıkar ve

yangını söndürür. Alçı bu sebeple yangına karşı dayanıklıdır. 1966 Londra yangını sırasında alçının ahşap yapıları koruduğu gözlemlenmiş ve kullanımı Paris’de zorunlu hale getirilmiştir.

Alçı, oldukça hafif ve işlenebilirliği yüksek olan bir yapı malzemesidir. Taşınma maliyeti düşük, onarım kolaylığı mevcuttur. Herhangi bir nedenle ortaya çıkacak çatlaklar, hızla onarılabilir. Düşük yoğunluğu sebebiyle alçı kullanılan yapıların yükünü hafifletir, deprem kuşağında olan ülkemiz için önemli bir avantaj sağlar.

Alçının avantajları:

- Nem dengeleyici özelliğe sahiptir.
- Çevre dostudur.
- Yaratıcı uygulamalara olanak tanımaktadır.
- Hafiftir ve kolay uygulanır.
- Ekonomiktir.
- Enerji tasarrufu sağlar.
- İyi bir ses ve ısı yalıtkanıdır [1].

1.2. Puzolanlar

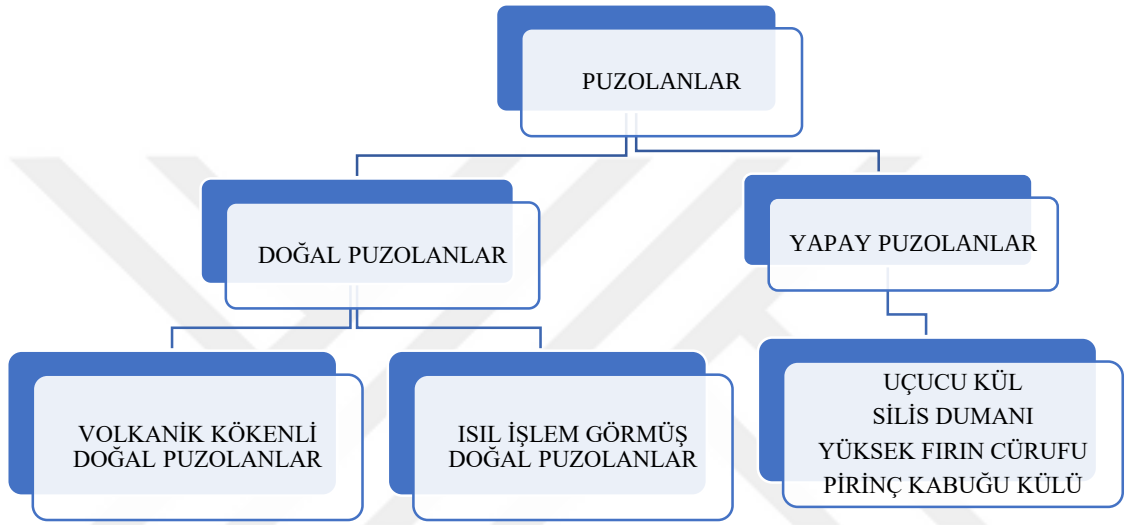
ASTM C618'e göre, puzolanlar kendi başlarına çok az bağlayıcılık özelliğine sahip olan veya hiç olmayan, ancak ince öğütülmüş formda, nemin mevcudiyetinde ve normal sıcaklıklarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir [14]. Puzolanlar, yapısında yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bulundurmaktadır. Yapısında bulunan oksitler sayesinde puzolan, kireç veya çimentolu harçlarda hidrasyon sonucu serbest halde bulunan kalsiyum hidroksiti bağlayarak kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelinin oluşumunu sağlar. Bu sebeple puzolanlar, hidrasyon ısını düşürmek, işlenebilirliği, dayanımı ve dayanıklılığı artırmak gibi önemli yararlar sağlamaktadır [15].

Puzolanik malzemelerin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için bazı koşulları sağlamış olması gerekmektedir. Bu koşullar aşağıda belirtilmiştir [16]:

- Malzemenin içerdiği silis-alümin-demir oksit miktarı yüksek olmalıdır. (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki “ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ” miktarının en az %70 olması istenmektedir.)
- Amorf yapıya sahip olmalıdır.
- Doğal haliyle yeterince ince taneli durumda olmalı veya öğütülerek ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.

1.2.1. Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmışlardır. Doğal puzolanlar; temelde az çok değişikliklere uğramış, genellikle volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşmuş malzemelerdir. Yapay puzolanlar ise endüstri kollarında yan ürün olarak ortaya çıkan malzemelerdir. Termik santrallerde oluşan, endüstriyel atık olan uçucu kül, demir çelik üretiminde açığa çıkan cüruf ve silis dumanı yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir. Puzolanların oluşum şekillerine göre sınıflandırılması Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Puzolanların Sınıflandırılması

1.2.2. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, volkanik kayalardan veya minerallerden meydana gelirler. Doğal puzolanlar temel bileşenlerine göre volkanik camlar, volkanik tüfler, kalsine kil veya şeyller ve diatomitler olarak sınıflandırılırlar [17].

1.2.2.1. Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar

Erimiş magmanın püskürmesi ile oluşan doğal puzolanlardır. Magmanın püskürtme şiddetine bağlı olarak farklı çeşit puzolanlar oluşur. Yüksek şiddette püskürmeler puzolanik aktiviteye sahip camsı malzemeler oluştururken, düşük şiddetteki püskürmeler camsı malzemelere kıyasla, kireçle daha az reaksiyona giren volkanik killeri ve şeyhleri meydana getirir.

Volkanik Camlar

Volkanik camlar, yüksek şiddette volkanik püskürme esnasında açığa çıkan sıvı lavların soğuması sonucu oluşurlar. En iyi bilinen volkanik cam örnekleri, Yunanistan'dan Santorini toprağı, İtalya' dan Bacoli puzolanı ve Japonya'dan Shirasu puzolanıdır [18]. Öğütülmüş halde

yüksek puzolanik aktiviteye sahiptirler. Volkanik camlar ayrıca camsı matrislerinde kuvars, feldispat ve mika gibi kristal olmayan mineralleri az miktarda içerirler.

Volkanik Tüfler

Volkanik tüfler, yanardağların püskürttüğü kül, kum ve lav parçacıklarından oluşan, çoğunlukla açık renkli, gözenekli yapı gösteren, tabakalaşan ve bazı durumlarda tabakalaşma karakteri göstermeyen kayaçlar olarak tanımlanır. Riyolit tüfler, dazit tüfler ve zeolit tüfler en iyi puzolanik malzemeler olarak bilinirler. Volkanik tüfler, ince parçacık boyutlarına öğütüldükten sonra kireçle reaksiyona girerek çimentomsu özellikler kazanır [19].

1.2.2.2. Isıl İşlem Görmüş Doğal Puzolanlar

Erimiş magmanın düşük şiddette püskürmesi sonucu oluşan, camsı malzemelere kıyasla kireçle daha az reaksiyona giren puzolanlardır.

Killer ve Şeyller

Killer ve killi zeminler, 0,002 mm'den daha küçük boyutlara sahiptir ve çoğunlukla alümina silikat içermektedir. Şeyller ise killerle benzer bileşenlere sahiptir fakat içerdikleri su miktarı killere göre daha azdır. Kil mineralleri kristal yapılıdır ve puzolanik özellik göstermezler. Fakat 700 °C ile 900 °C arasında ısıl işleme tabi olduktan sonra kalsine olur ve puzolanik özellik gösterirler [20].

Diatomitler

Diatomitler, silisli hücrelere sahip mikroskopik su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Bazı topraklarda olan bu organik kalıntılar %94 oranına kadar silis içerebilirler ve diatomitlerin puzolanik aktivitesi, içerdikleri amorf silis miktarına bağlı olarak değişmektedir. Isıl işleme tabi tutulup öğütüldükten sonra puzolanik özellik kazanabilirler [20].

1.2.3. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar genellikle endüstriyel yan ürün malzemelerdir. Uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve pirinç kabuğu külü bazı örneklerdir. İnce taneli parçacıklardır, bu nedenle boşlukların boyutunu ve hacmini azaltırlar.

1.2.3.1. Uçucu Kül

Uçucu küller, termik santrallerde enerji üretilirken yakılan taşkömürü ve linyitin bacalarda filtreler ile tutulmasıyla oluşan atık malzemelerdir. Yakılan yakıt cinsi, santral tipi ve yanma şekli

gibi faktörler uçucu kül üretimini etkiler. Termik santrallerde elektrik enerjisi üretilirken kömürün %10-15'i, linyitin ise %20-50'si kül olmaktadır ve bu ortaya çıkan küllerin yaklaşık %80'i baca gazları ile kazandan ayrılmaktadır. Ayrılan bu malzemeler uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Termik santrallerde uçucu küllerin tutulması için yüksek standartlı elektro-filtreler kullanılmaktadır. Uçucu küller içerdikleri $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesine göre F sınıfı ve C sınıfı uçucu kül olarak ikiye ayrılmaktadır [21].

1.2.3.2. Silis Dumanı

Silis metali veya ferro silisyum üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucunda elde edilen çok ince taneli tozlara silis dumanı denir. Fırınların düşük sıcaklıktaki yukarı kısımlarında SiO gazı hava ile temas ederek hızlı bir şekilde okside olur ve amorf yapıdaki SiO olarak yoğunlaşır. Silis dumanı çok ince taneli bir malzeme olduğundan ve yüksek oranda SiO_2 içerdiğinden dolayı çok kuvvetli bir puzolanik bağlayıcılık özelliği göstermektedir. Diğer puzolanlara göre erken dayanım sağlar [22].

1.2.3.3. Yüksek Fırın Cürufu

Cüruflar çeşitli metalurji tesislerinde elde edilen atık madde gruplarından biridir ve yapay puzolan olarak değerlendirilmektedir. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri, elde edilen kuruluşun üretim yöntemine bağlı olarak birbirlerinden farklılıklar gösterebilmektedir [23]. Yüksek fırın cürufu (YFC) silis, kalsiyum alümina silis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında eriyik halde elde edilen bir endüstriyel atık ürünüdür. Farklı şekillerde soğutulması ile granüle yüksek fırın cürufu oluşur ve inceltilmiş hale getirildiğinde puzolanik özellik kazanır. Erken dayanıma katkısı düşüken nihai dayanıma etkisi yüksektir ve dayanıma etkisi gün geçtikçe artar [24].

1.2.3.4. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu külü, çeltik üretimi sonucunda oluşan ve atık ürünlerin yakılmasıyla ortaya çıkan külün, hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Pirinç kabuğu külünde %80 - %90 oranında silis bulunduğu ve puzolanik yapısının içeriğindeki amorf silisten meydana geldiği bilinmektedir [25].

1.3. Elyaf lar

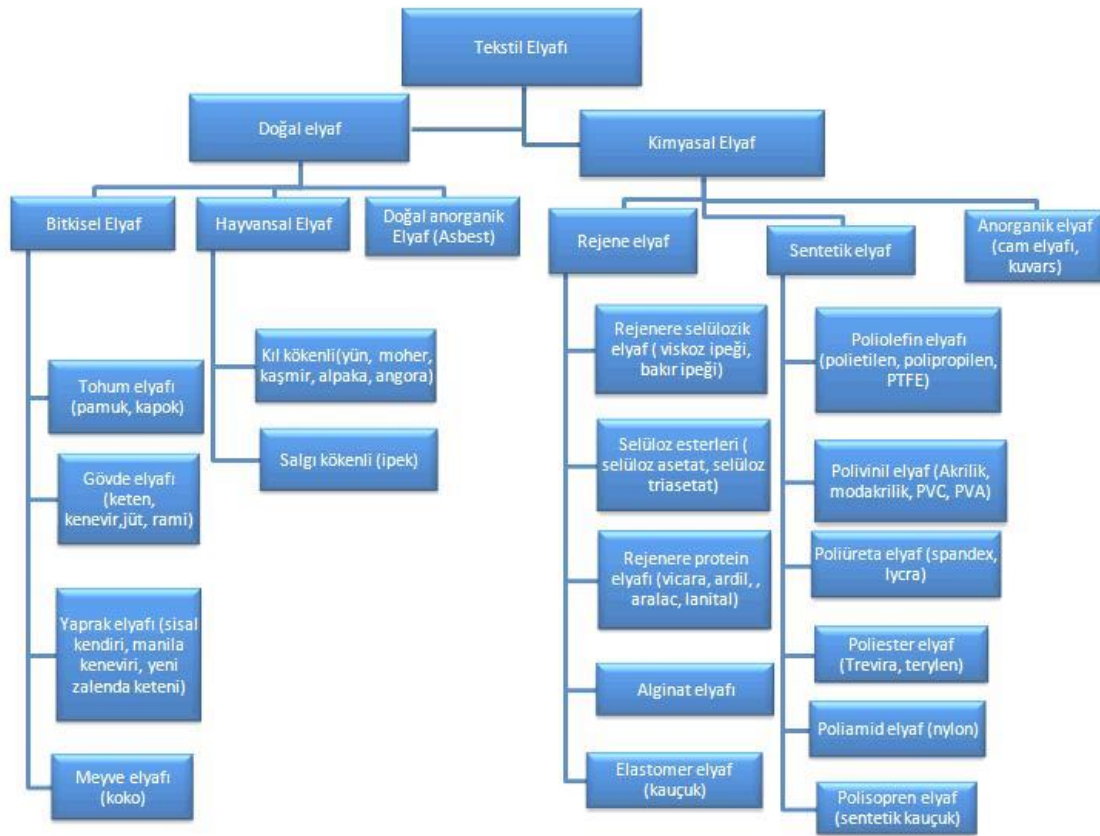
Çeşitli şekillerde ve boyutlarda malzemelerden üretilen bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemeler elyaf olarak değerlendirilir. Elyaf lar yüksek elastisite modülüne

sahip olduklarından korozyon ve kimyasallara karşı dayanıklıdırlar. Bir malzemenin elyaf olarak değerlendirilebilmesi için [26];

- Uzunluğunun enine oranı en az 10/1,
- En büyük kesit $\leq 0.05 \text{ mm}^2$,
- En büyük genişlik $\leq 0.25 \text{ mm}$ olmalıdır.

1.3.1. Elyafların Sınıflandırılması

Elyafar genel olarak doğal ve yapay elyafar olmak üzere iki ayrı grupta incelenirler. Doğal elyafar, doğadan elde edilip çok az işlem gördüklerinden ve kolay elde edilebilir olmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Yapay elyafar, doğal hammaddelerin değişik işlemler ile elyaf haline getirilmesiyle üretilirler. Üretim metotları elyaf türüne göre değişiklik göstermektedir [27]. Tekstil elyafarın sınıflandırılması Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Elyafarın Sınıflandırılması [28]

Kompozit malzemelerin içinde önemli bir paya sahip olan elyaf takviyeli kompozitlerde donatı malzemesi olarak kullanılan elyaf, kompozit malzemenin temel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Matris içine dayanıklı, elastikliği yüksek elyaf ilave edildiği zaman matrisin

dayanımının iyileştirilmesinin yanı sıra, hafif olan güçlendiriciyle birlikte, kompozitin birim ağırlığının düşürülmesi ve tokluk değerinin de yükseltilmesi beklenir. Kompozitlerde kullanılan bazı doğal ve yapay elyaflar aşağıda belirtilmiştir.

Cam Elyaf

Cam elyaf 1200 °C -1500 °C sıcaklıkta elektrikli fırınlarda eritilen camın çok küçük delikler yardımıyla akıtılıp soğutulması ile elde edilen yapay elyaflardır. Isıl iletkenlik değeri düşük olduğu için yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çekme dayanımı oldukça yüksektir ve kompozitlerin çekme mukavemetini artırır [29]. Üretim esnasında kullanılan bileşenlerde yapılan değişiklik ile farklı karakteristik özelliklere sahip cam elyaf ürünleri üretilebilir.

Karbon Elyaf

Yapay elyaflar içerisinde değerlendirilen karbon lifi poliakrilonitril veya ziftten üretilmektedir. Karbon lifin kimyasal dayanımı oldukça iyidir ve elektriksel iletkenlerdir. Bu sebeple iletken polimer kompozit üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır. Üretimi yavaş ve yüksek maliyetlidir. Maliyetinin yüksek olması nedeni ile yüksek teknoloji gerektiren uçak sanayi ve otomotiv sanayi gibi endüstrilerde kullanılmaktadır [30].

Bazalt Elyaf

Bazalt elyaf, bazalt kayacından üretilen inorganik elyaftır. Çevre dostudur, sağlığa veya çevreye, yanıcı ve patlayıcı zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon içermez. Yüksek ısı direnci ve yüksek kesme mukavemetine sahiptir [31].

Polipropilen Elyaf

Polipropilen lifler uygulanması kolay, betonun ve sıvanın kalitesini artıran, kimyasallara karşı dayanıklı, ucuz ve hafif bir üründür. Genellikle betonda, alçıda, sıvada plastik rötre çatlaklarını azaltmak için kullanılırlar. Alternatif donatı sistemleriyle karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir.

Kenevir Elyaf

Kenevir uzun boğumlu sapları olan, tek yıllık ve çevre dostu bir malzemedir. Kenevirin kullanım alanları çeşitlidir ve sanayide sektöründe kenevire dayalı imalat birçok imalat kalemleri vardır. Kenevir gıda, inşaat, tekstil, ilaç, kompozit malzemeler ve kozmetik ürünler alanlarında oldukça fazla kullanılmaktadır. Kenevir elyaflar yüksek dayanıklılık, nem çekme ve sertlik özelliği gösterirler. Kenevir elyaflar hafif malzemelerdir ve kullanıldığında kompozitin yoğunluğunu düşürmektedir [32].

1.4. Taguchi Metodu

Geleneksel deney tasarımı, bir parametre değiştirilirken diğer bütün parametreler sabit tutulur, tasarım tüm parametre ve seviyeleri dikkate alınarak yapılır. Deney tasarımı parametreler ve parametre seviyeleri arttıkça yapılacak deney sayısı da artmakta ve pratikte uygulanması zorlaşmaktadır. Taguchi metodu sistematik tasarımlarda optimizasyon için kullanılan deney tasarım metodlarından biridir [33].

Taguchi metodu, daha az deney ile daha fazla parametre değerlendirme ve daha verimli sonuçlar elde etme fırsatı sunar. Deney sayısının azaltılması hem harcanan zamanı hem de maliyeti en aza indirir. Deney tasarımı belirlendikten sonra yapılan deneyler ile elde edilen veriler varyans analizi ile incelenir ve performansa etki eden parametreler belirlenir.

1.4.1. Taguchi Sinyal/Gürültü Oranları

Deney verilerinin değerlendirilmesinde genellikle standart sapma kullanılırken Taguchi deney tasarımı standart sapma yerine sinyal/gürültü (S/N) oranı kullanılır. Standart sapma ile değerlendirme yapılırken, ortalama artarken standart sapmada artmakta ya da azalırken azalmaktadır. Fakat sinyal/gürültü (S/N) oranı ortalama hedefte tutarken standart sapmanın minimum olduğu parametre düzeyi kombinasyonunu vermektedir. S/N oranı ulaşılmak istenen hedefe göre üçe ayrılır [34].

En Küçük – En İyi

En küçük – en iyi durumunda deney sonuç verisi olarak adlandırılan Y değerinin hedef değeri sıfır olarak belirlenir. S/N oranı Denklem 1.5 kullanılarak hesaplanır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (\text{Denklem 1.5.})$$

En Büyük – En İyi

En büyük - en iyi durumunda deney sonuç verisi olarak adlandırılan Y değerinin hedef değeri sonsuz olarak belirlenir. S/N oranı Denklem 1.6 kullanılarak hesaplanır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{Denklem 1.6.})$$

Hedef Değer – En İyi

Hedef değer - En iyi durumunda, sisteme bir hedef değer tanımlanır ve deney sonuç verisi olarak adlandırılan Y ortalama değeri $\bar{Y}$ kullanılır ve s^2 varyansı ifade etmektedir. S/N oranı Denklem 1.7 kullanılarak hesaplanır.

$$S/N = 10 \log \frac{\bar{Y}^2}{s^2} \quad (\text{Denklem 1.7.})$$

Ulaşılmak istenilen hedefe göre seçim yapılır ve her üç yöntemde de amaç S/N oranını maksimum tutmaktır [35].

1.5. Literatür Özeti

Dumlu (2013) yaptığı çalışmada, alçının zayıf mekanik özelliklerini ve ısı yalıtkanlığını arttırmak için içerisine 6 mm uzunluğunda E tipi cam lifi ve 2 mm boyutunda kırık atık araba lastiğini değişen oranlarda eklemiş ve farklı birleşimde kompozit malzemeler üretmiştir. Su/alçı oranı 0.6, 0.7 ve 0.8 olarak değişken kullanılmıştır. Kırılmış atık araba lastiği ağırlıkça %0,5, 1 ve 2 olarak, E tipi cam lifi ağırlıkça %1, 2 ve 3 oranlarında kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek basınç dayanımı su/alçı oranı 0.6 olan numunelerde görülmüştür. Artan cam lifi katkısının ısı yalıtım üzerinde azalma meydana getirdiği görülmüşken, atık araba lastiği katkısı artışıyla ısı yalıtım özelliğinde iyileşmeler görülmüştür. E tipi cam lifi, içine katılan kompozit malzemeleri mukavim ve ısı yönden yalıtkan hale getiren bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır. Serilerde en yüksek dayanım cam lifi oranı %3, atık araba lastiği oranı %0,5 olan numunelerde görülmüştür [8].

Turan (2017) yaptığı çalışmada, alçı malzemeye belirli oranlarda cam, karbon ve polipropilen lif takviye edip alçının fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Bununla birlikte sodyum silikat solüsyonu ile alçı malzemede fiziksel özelliklerin geliştirilmesini amaçlamıştır. Çalışmada 12 mm ve 24 mm olmak üzere lifler iki farklı boyutta kullanılmış, su/alçı oranı 0.7 olarak sabit tutulmuştur. Cam suyu %6, %4 ve %2 oranlarında, lifler %0,1, %0,5, %1, %2 oranlarında kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda cam suyu ikame oranının artışının su emme oranını düşürdüğü fakat lif oranı artışının su emmeyi arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Cam suyu ikame oranının artışı basınç dayanımını arttırmış olup, lif oranının %0,5 düzeyinde kullanılması dayanımı arttırırken %0,5'den fazla kullanılması dayanımı düşürmüştür. Lif oranının artışı eğilme dayanımını arttırmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde ideal lif çeşidi olarak karbon lif, ideal lif oranı %0,5 ve ideal cam suyu oranı %4 olarak belirlenmiştir [36].

Erdem (2013) yaptığı çalışmada, yapılarda yaygın kullanıma sahip alçının özelliklerini iyileştirmek amacıyla, lif katkısıyla alçı kompozit malzeme üretilebilirliği ve bu kompozitin özellikleri incelemiştir. Alçı kompoziti güçlendirici olarak kullanılan lif, atık PET şişelerinden geri kazanılmış polietilen tereftalat lif olarak seçilmiştir. Kompozitlerin içinde 3,3 dtex ve 6,6 dtex olarak iki farklı çapta rPET lifi kullanılmıştır. Lifler %0,05 ve %1 arasında değişen hacim oranlarında kullanılmıştır. Lif ile alçı arasındaki aderansı artırmak amacıyla, stiren butadien, PVA ve akrilik esaslı aderans artırıcı katkı malzemeleri ilave edilmiştir. Alçının priz alma süresinin kısa olması nedeniyle priz geciktirici olarak karışımlara sitrik asit ilave etmiştir. Yapılan deneyler

sonucunda rPET lifleriyle güçlendirilmiş alçı kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin, lif hacim oranlarının %0,1 ve %0,15 olduğu kompozitlerde bir miktar artmasına rağmen, lif hacim oranının %0,15'den daha yüksek olduğu kompozitlerde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizlerinde, alçı kompozitlerin içindeki liflerin çevresinde boşlukların olduğu görülmüş ve bu boşluklar nedeniyle, lif ve alçı arasındaki aderansın zayıf olduğu tespit edilmiştir. Lif ile matriks arasındaki aderansın yetersiz olması nedeniyle kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin de düşük olduğu görülmüştür. PVA esaslı aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş numunelerin, en yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Aderans artırıcı katkı malzemesinin, lifsiz alçı numuneler içinde kullanılmasıyla, alçının basınç ve eğilme dayanımlarını arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, her iki katkı malzemesinin (aderans artırıcı katkı malzemesinin ve lifin) bir arada kullanıldığı alçı kompozitlerin mekanik dayanım değerlerinin, diğer kompozitlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görülmüştür. En iyi mekanik dayanım değerlerine sahip olan kompozitlerin, aderans artırıcı katkı malzemesi ilave edilmiş, lif hacim oranı %0,05 ve %0,075 olan, 1 cm lif boyundaki rPET lifiyle güçlendirilmiş alçı kompozitlere ait olduğu görülmüştür [12].

Yıldız vd. (2006) yaptıkları çalışmada, yapı alçılarının belirli oranlarda silis dumanı ile yer değiştirerek kullanılması durumunda mekanik ve fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Su/ alçı oranı 0.7 olarak sabit tutulmuştur. Silis dumanının hacimce %5, %10, %15, %20, %25 oranında alçı ile yer değiştirilmesiyle numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda silis dumanı kullanımının boşluk yüzdelğinde azalma meydana getirdiği görülmüştür. Bu durum malzemenin donma-çözülme, aşınma ve geçirimsizlik incelemelerinde iyi sonuçlar verebileceğini göstermiştir. Fakat silis dumanı katkısının basınç dayanımında düşüş meydana getirdiği görülmüştür [37].

Yıldızel (2020) yaptığı çalışmada, metakaolin (MK) ve bazalt elyafın (BF) alçı bazlı kompozitlerin performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 6 mm ve 12 mm uzunluğundaki BF'ler, ağırlıkça %0,8'e kadar olan oranlarda kullanılmıştır. Hem kuru hem de suya doymuş numuneler üzerinde mekanik testler yapılmıştır. Deneysel süreç sonrasında, MK ilavesinin kompozitlerin mukavemetini ve dayanıklılığını arttırdığı görülmüştür. BF ile güçlendirilmiş kompozitlerin eğilme mukavemeti ve tokluğu önemli ölçüde artmıştır, ancak 6 mm liflerin etkisi çok daha yüksek bulunmuştur. BF ve MK içermeyen kompozitlerle karşılaştırıldığında, büzülmenin yaklaşık %50 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır. Ağırlıkça %0,6'yı aşan BF ilavelerinde kompozitlerin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, BF'lerin ağırlıkça %0,6'sı bu tip kompozitler için optimum içerik olarak kabul edilmiştir [38].

Dolezelova vd. (2021) yaptıkları çalışmada, baca gazı kükürt giderme bağlayıcısından ve üç tip ince dolgu maddesinden (silis kumu, perlit, genişletilmiş kil agregası ve atık poliüretan köpük)

hazırlanan alçı kompozitlerin yapısı ve davranışı incelemişlerdir. Test edilen kompozitlerin kuru bileşenleri olarak alçı, dolgu maddeleri ve priz geciktiriciler kullanmışlardır. Alçının dozunu her zaman 450 g/parti olarak almışlardır. Priz geciktirici miktarını kuru alçı kütlesinin %0,02'si olarak belirlemişlerdir. Deneysel süreç sonunda atık ezilmiş poliüretan köpüklü kompozitin en düşük mukavemete, fakat en iyi ısı yalıtım özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. Özelliklerinin daha az talepkar binalar için yeterli olduğu görülmüştür. Fakat bu malzemeyi bir sıva olarak kullanmak için alt tabakaya daha iyi yapışma sağlanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ezilmiş PUR köpüklü malzemenin, çevresel açıdan en uygun olduğu görülmüştür [39].

Serna vd. (2012) yaptıkları çalışmada, alçıya kauçuk gibi oldukça elastik bir polimerin eklenmesiyle alçı sıvanın elastik davranışını iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Su/alçı oranı: 0.6, 0.7 ve 0.8 olarak belirlenmiştir. Kauçuk partikül boyutları 0–1 mm, 1-2 mm ve 2–4 mm, kauçuk yüzdesini alçı ağırlığına göre %1, %3 ve %5 olarak belirlenmiştir. Deneysel süreç sonrasında mekanik dayanımların, eğilme dayanımında ortalama %16, basınç dayanımında ortalama %18,3 azaldığı görülmüştür. Ancak testlerde elde edilen değerler her halükarda yeterli olduğu ve UNE EN 13279-1 standardında bu alçı sıva tipi için belirtilen şartları karşıladığı görülmüştür. Kauçuk partikülleri ve alçı sıva arasındaki uyumluluk kanıtlanmıştır ve ELT kalıntılarının değerlendirilmesi, bunları inşaatta kullanılan alçı sıvaya dahil ederek yapılabileceği görülmüştür [40].

Yıldız (2018) yaptığı çalışmada, alçı genişletilmiş perlit ve silis kumu ile oluşturulan cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik performansını incelemiştir. Referans karışım cam elyafı, beyaz çimento ve alçıdan oluşmaktadır. Yapılan çalışmada alçı %50 oranında silis kumu ile yer değiştirilmiş ve daha sonra silis kumuda ağırlıkça %5, %10 ve %15'i oranında genişletilmiş perlit ile yer değiştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda elyaf içeriği %1.5'e kadar artan basınç ve eğilme mukavemeti gibi mekanik özellikler göstermiştir. Herhangi bir agregaya içermeyen numunelerin hem basınç hem de eğilme mukavemetinde önemli bir kayıp olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş perlitin gözenekli yapısı ve silis kumunun %15'ine kadar kullanılması kompozitin yoğunluğunu azaltmış ve kompozitin büzülme davranışını iyileştirmiştir; ancak mukavemet değerlerinde kayıpların meydana geldiği görülmüştür [41].

Ngah vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, farklı sayıda kendir ve cam elyaf takviyeli katmanlar içeren lifli sıvanın yapısal performansını araştırılmıştır. Kimyasal ve fiziksel özellikler, X-ışını kırınımı, cıva intrüzyon porozimetrisi ve dinamik buhar absorpsiyonu ile değerlendirilmiştir. Kendir ve cam elyaf donatılarının farklı konfigürasyonları ile güçlendirilmiş alçı sıva üzerinde eğilme testleri yapılmıştır. Düşük ve yüksek yoğunluklu alçı sıvanın mikro yapısı, kendir kumaşlarını tamamlayan veya değiştiren geleneksel çuval kumaşlar ve modern cam kumaşlarla birlikte değerlendirilmiştir. Lifler örgü şeklinde ve katman katman olarak kullanılmıştır ve ortalama 5 mm 10 mm olan gevşek bir düz dokuma ve ortalama 2.9 mm 3.4 mm açıklığa

sahip daha sıkı bir düz dokuma olmak üzere iki farklı dokuma stili incelenmiştir. Bazı serilere priz süresini kontrol etmek ve geciktirmek için alçı geciktirici de eklenmiştir. Her biri yaklaşık 5 g ağırlığında iki tip alçı geciktirici, sodyum sitrat ve inci yapıştırıcı kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, cam elyaf takviyeli elyaflı sıva, kendir takviye ile karşılaştırıldığında olağanüstü iyi performans göstermiştir. Cam elyaf takviyeli alçı sıva, donatı olmadan alçı sıvanın eğilme mukavemetini aşmıştır. Alçı sıva ile kendir takviyesinin kullanılması eğilme mukavemetini etkilemese de, kendir malzemesinin varlığı, çatlak yayılmasını geciktirmede ve ardından çatlağın köprülenmesini sağlamada faydalı olduğu düşünülmektedir [42].

Rivero vd. (2014) yaptıkları çalışmada, atık kauçuğun farklı boyutta parçacık oranlarının bir alçı matrisine eklenmesi potansiyelini araştırmıştır. Bu amaçla, yeni kompozitin fiziksel ve mekanik davranışını karakterize eden bir deneysel plan hazırlanmıştır. Farklı tane boyutları, ağırlık oranları ve su/alçı oranları analiz edilmiştir. Alçı ağırlığına göre dört kauçuk yüzdesinin eklenmesiyle, (1-2 mm, 2-4 mm, 4-6 mm ve 20-25 mm) farklı boyutlarda kırıntı kauçuktan oluşan birkaç dizi numune analiz edilmiştir. Su/sıva oranları 0.70 ve 0.76 olarak belirlenmiştir. Karışım tarafından kabul edilen atık kauçuk ilave limiti alçı ağırlığına göre %7,50'dir. Bu oranın üzerinde atık hacmi alçı miktarını aşmış ve bu nedenle uygun bir karışımın üretilmesi imkansız hale gelmiştir. Boru köpüğü izolasyonundan çıkan atık kauçuk ile alçı matris arasında iyi bir uyum olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen alçı-kauçuk kompozit hafif bir yapı malzemesi olduğu belirlenmiştir ve referans numunelere kıyasla %49'a varan yoğunluk azalmasına ulaştığı görülmüştür. Mekanik dayanım, atık kauçuk ilavesindeki artışla azalmış ve daha büyük partikül boyutları eklenirken bu azalma artmıştır. Ancak elde edilen tüm eğilme mukavemeti değerleri UNE-EN 13279 gerekliliklerine ulaşmıştır. Öte yandan, %5.00 ve %7.50 atık kauçuk ilaveli ve 20-25 mm partikül boyutuna sahip numuneler, basınç dayanımı gereksinimlerini karşılamamıştır. Çalışılan farklı atık kauçuk parçacık boyutları arasında, 4-6 mm boyutu, kompozit mekanik davranıştan ödün vermeden yeni kompozit malzemede ilave olarak kullanılmaya en uygun olanı olduğu görülmüştür. Sonuçlar göz önüne alındığında, öğütülmüş köpük kauçuk, alçı bazlı ürünlere dahil edilmesi için uygun görülmüştür [43].

Cengiz (2009) yaptığı çalışmada, alçı hamurlarına puzolan katılmasının ve kür koşullarının dayanıma etkisini araştırmıştır. Çalışmada ağırlıkça yüzde 0, 15, 30, 45, 60 ve 75 uçucu kül içeren altı seri, ağırlıkça yüzde 15, 30, 45, 60 ve 75 yüksek fırın cürufu içeren beş seri ve sadece uçucu kül ile sadece yüksek fırın cürufu içeren iki seri olmak üzere toplam on üç farklı karışım oluşturulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0.6 olarak sabit tutulmuştur. Bazı numuneler 20 ± 2 °C suda tutularak, bazıları ise farklı sürelerde (4,12,24 ve 72 saat gibi) 50 °C veya 80 °C yüksek sıcaklıklara tabi tutulduktan sonra 20 ± 2 °C suya bırakılarak test gününe kadar beklenmiştir. Numunelerin basınç dayanımları 7, 14 ve 28 günde ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda doğal alçı hamurlarının mukavemetlerinin özellikle yüksek sıcaklıkta kürelemede puzolan ikamesi ile

önemli ölçüde iyileştiği sonucuna varılmıştır. Yüksek fırın cürufu içeren karışımların uçucu kül içeren karışımlara kıyasla daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [44].

Iucolano vd. (2019) yaptıkları çalışmada, alçı sıvaların darbe yüklerine, sismik olaylara karşı direncini arttırmak için elyaf takviyeli alçı kompozitleri incelemişlerdir. Çalışmada alçı kompozitlerde oldukça yaygın kullanılan cam elyaf yerine, çevre dostu kenevir lifi kullanılmasının uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmada cam lifi ve kenevir lifi ilavesi bağlayıcıya göre ağırlıkça %1 ve %2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca lif içermeyen referans numunelerde üretilmiştir. Kenevir lifleri ve cam lifleri 10 mm uzunluğunda kullanılmış, su/bağlayıcı oranı 0,7 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen kompozitlerin eğilme ve darbe davranışı incelenmiştir. Çalışma sonunda eğilme testleri, tüm lif türlerinin mikro çatlakları köprüleme ve yayılmalarını azaltmadaki etkinliği kanıtlanmıştır. En yüksek eğilme dayanımı lif katkısı %2 olan serilerde görülmüştür. Darbe testlerinde de elyaf takviyesinin olumlu etkisi vurgulanmıştır. Çalışma sonunda hem statik hem de mekanik testler kenevir liflerinin, cam liflerinin yerine uygun olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [45].

Iucolano vd. (2018) yaptıkları çalışmada, alçı sıvalar içerisine kenevir lifleri ekleyerek kompozitin termal direncinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Çalışmada kenevir lifleri 10 mm olacak şekilde kesilmiş ve miktarı bağlayıcı ağırlığının %1'i olarak belirlenmiştir. Su/bağlayıcı oranı 0.7 olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca lif içermeyen referans numunelerde üretilmiştir. Tüm numuneler 150 °C ve 250 °C sıcaklıkta, 20 dakika ve 40 dakika bekletildikten sonra hem mekanik hem de fiziksel özellikler değerlendirilmiştir. Sonuçlar, alçı matrisinin mekanik direnci sıcaklığın artmasıyla güçlü bir şekilde düşse bile, kenevir liflerinin köprü rolünün yüksek sıcaklıklarda hala belirgin olduğunu ve böylece matrisin eğilme direncini arttırdığını göstermiştir. 150 °C'de 20 dakika sonra referans numuneler %65'lik bir eğilme mukavemeti düşüşü sergilerken, elyaf takviyeli numunelerde bu düşüşün %38 olduğu görülmüştür [46].

Karaman vd. (2006) yaptıkları çalışmada, ağaç yaprağı ve pomza katkılı alçı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek tarımsal yapılarda kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada 5-10 mm uzunlukta, 0,5-3 mm çapında öğütülen ağaç yaprakları ve 212 µm inceliğinde pomza farklı oranlarda kullanılarak alçı kompozitler oluşturulmuş ve testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ağaç yaprağı katkısı arttıkça eğilme ve basınç dayanımının düştüğü ısı yalıtım özelliğinin arttığı görülmüştür [47].

Yapılan literatür taraması sonucunda; puzolan kullanımının malzemenin fiziksel özelliklerini geliştirdiği fakat mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada puzolanlara ek olarak, elyaf ve hafif agrega kullanılarak malzemenin fiziksel özelliğinin yanında mekanik özelliklerinin de geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

2.1.1. Alçı

Çalışmada Elazığ Aslanlı Alçı ve Hammaddeleri firmasına ait katkısız, seperatör çıkışı ham alçı kullanılmıştır. Kullanılan seperatör çıkışı alçının özgül ağırlığı $2,53 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Malzemenin fiziksel özellikleri Tablo 2.1'de teknik özellikleri Tablo 2.2'de belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan seperatör çıkışı ham alçı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Seperatör Çıkışı Alçıya Ait Fiziksel Özellikler

Ürün Tanımı	Ham Alçı
Görünüş	Toz
Renk	Beyaz
Çözünürlük	Suda Çözünebilir
pH	8

Tablo 2.2. Seperatör Çıkışı Alçıya Ait Teknik Özellikler

Teknik Özellikler											
Ürün Cinsi	Numune Alınan Yer	Kristal Su (%)	Çap (mm)	Priz Süresi (dk)	Yoğunluk (gr/lt)	Elek Analizi (%)					
						45µ	100µ	160µ	200µ	400µ	600µ
İnce Alçı	Seperatör Çıkışı	4,8-5,4	200-230	6-10	740-770	32	16	10	6	2	0



Şekil 2.1. Alçı

2.1.2. Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu Zonguldak Ereğli Oyak Beton tesisinden öğütülmüş halde temin edilmiştir. Yüksek fırın cürufunun erken dayanıma etkisi düşük ve nihai

dayanıma etkisinin yüksek olduğu bilinmektedir. Çalışmada öğütülmüş olarak temin edilen yüksek fırın cürufu 125 µm açıklıklı elekten elenerek kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri Tablo 2.3’de belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Yüksek Fırın Cürufuna Ait Kimyasal Özellikler

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Mn ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)
YFC	41,00	13.32	1.11	0.11	7.29	0.44	0.96	0.76	0.87	34.17



Şekil 2.2. Yüksek Fırın Cürufu

2.1.3. Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan silis dumanı ETİ Elektrometalurji A.Ş.’den temin edilmiştir. Silis dumanının erken dayanıma etkisinin yüksek olduğu bilinmektedir. Temin edilen silis dumanı yeterli incelikte olduğu için eleme işlemine tabi tutulmadan doğrudan kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin özgül ağırlığı 2,30 g/cm³’tür. Silis dumanına ait kimyasal özellikler Tablo 2.4’de belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan silis dumanı Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

Tablo 2.4. Silis Dumanına Ait Kimyasal Özellikler

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	C (%)	S (%)	K.K (%)
Silis Dumanı	79.94	0.83	0.41	0.38	7.68	2.53	1.22	0.92	2.96



Şekil 2.3. Silis Dumani

2.1.4. Cam Elyaf

Çalışmada yapay elyaf olarak E tipi cam elyaf kullanılmıştır. Kullanılan cam elyaf Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Kullanılan elyafın boyu 10-15 mm, özgül ağırlığı 2.68 g/cm^3 ’tür. Elyaf Doğusan Yapı Malzemelerinden temin edilmiştir. Cam elyaf, eğilme dayanımı değerlerinde artış gözlemlemek amacıyla sıva harcına eklenmiştir. Çalışmada kullanılan cam elyafın bazı özellikleri Tablo 2.5’de belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan cam elyaf Şekil 2.4’de gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Cam Elyafa Ait Fiziksel Özellikler

Elyaf Çeşiti	Elyaf Boyu (mm)	Elyaf Çapı (μm)	Özgöl Yüzey (m^2/kg)	Özgöl Ağırlık (g/cm^3)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Cam Elyaf	10-15	12-14	105	2.68	72000	1700



Şekil 2.4. Çalışmada Kullanılan E-Cam Elyafa ait Görüntü

2.1.5. Kenevir Elyaf

Doğal elyaf olarak çalışmada kullanılan kenevir elyaflar Samsun ili Vezirköprü ilçesinde bulunan kenevir üreticilerinden temin edilmiştir. Kullanılan kenevir elyaflar 10-12 mm boyunda manuel yöntemler ile parçalanarak kullanılmıştır. Kenevir elyafa ait bazı fiziksel özellikler Tablo 2.6'da belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan kenevir elyaf Şekil 2.5'de gösterilmektedir.

Tablo 2.6. Kenevir Elyafa Ait Fiziksel Özellikler

Elyaf Çeşiti	Elyaf Boyu (mm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kenevir Elyaf	10-12	1.43	12.70	500-700



Şekil 2.5. Çalışmada Kullanılan Kenevir Elyafa ait Görüntü

2.1.6. Pomza

Yapılan literatür çalışması sonucunda agrega kullanımının alçının mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Çalışmada alçı sıvalara hafif agrega olarak bağlayıcı miktarının ağırlıkça %30'u miktarında pomza ilave edilmiştir. Kullanılan pomza Ege Bims firmasından temin edilmiş 1 mm açıklıklı elekten elenerek kullanılmıştır. Malzemenin özgül ağırlığı 0.75 g/cm³'tür. Kullanılan malzeme Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan pomza Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Çalışmada Kullanılan Pomzaya ait Görüntü

2.1.7. Tartarik Asit

Yapılan ön deneyler sonucunda ham alçının çok hızlı priz aldığı ve yeterli işlenebilirlik süresi vermediği görülmüştür. Bu sebeple bütün karışımlara priz geciktirici olarak %0.003 oranında tartarik asit ve tartarik asidi aktifleştirebilmek için %0.03 oranında sönmüş kireç ikame edilmiştir. Priz geciktiricilerin alçı sıvaların mukavemetine olumsuz etki ettiği bilinmektedir bu sebeple kullanılan geciktirici minimum oranda tutulmuştur. Çalışmada kullanılan tartarik asit ve kireç Elazığ Aslanlı Alçı ve Hammaddeleri firmasından temin edilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Karışım oranları belirlenirken öncelikle literatür taraması yapılmış, benzer çalışmalar ve optimum sonuçları veren değerler dikkate alınmıştır. Daha sonra yapılan ön deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre hangi malzemeden ne oranda kullanılacağı, parametreler ve seviyeler belirlenmiştir. Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak en iyi karışım oranlarının bulunması hedeflenmiştir.

Yapılan ön deney sonuçları değerlendirilmiştir ve yüksek fırın cürufunun ağırlıkça %0, %10, %20, %30, silis dumanının ağırlıkça %0, %10, %20, %30, cam lifinin ağırlıkça %0, %0,2, %0,4, %0,6 ve kenevir lifinin ağırlıkça %0, %0,2, %0,4, %0,6 oranlarında kullanılmasına, su/bağlayıcı oranının 0.6 ve 0.7 olarak değişken tutulmasına karar verilmiştir. Bütün serilere toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %30'u kadar pomza ilavesi yapılmıştır. Ayrıca kullanılan ham alçının işlenebilirlik süresinin çok kısa olduğu, kalıplama fırsatı vermediği görülmüştür. Priz süresini uzatabilmek için toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %0.003'ü oranında tartarik asit ve tartarik asidi aktifleştirebilmek için bağlayıcı miktarının ağırlıkça %0.03'ü oranında sönmüş kireç kullanılmasına karar verilmiştir.

Yüksek fırın cürufu, silis dumanı, cam lifi ve kenevir lifi parametreleri 4 seviyeli, su/bağlayıcı parametresi 2 seviyeli olarak belirlenmiştir. Beş değişken parametre esas alınarak Taguchi L16 ($2^1 \times 4^4$) ortogonal dizini belirlenmiştir. Belirlenen deney parametreleri ve seviyeleri Tablo 2.7’de, döküm yapılacak 16 serinin karışım oranları ise Tablo 2.8’de belirtilmiştir.

Tablo 2.7. Deney Parametreleri ve Seviyeleri

Parametre	Seviye	Değer
Su/Bağlayıcı	2	0.6, 0.7
Yüksek Fırın Cürufu (%)	4	0, 10, 20, 30
Silis Dumanı (%)	4	0, 10, 20, 30
Cam Lifi (%)	4	0, 0,2, 0,4, 0,6
Kenevir Lifi (%)	4	0, 0,2, 0,4, 0,6

Tablo 2.8. Numunelerin Karışım Oranları

Seri No	Su/Bağlayıcı	Alçı (%)	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Pomza (%)
N1	0.6	100	0	0	0	0	30
N2	0.6	90	0	10	0,2	0,2	30
N3	0.7	80	0	20	0,4	0,4	30
N4	0.7	70	0	30	0,6	0,6	30
N5	0.7	90	10	0	0,2	0,4	30
N6	0.7	80	10	10	0	0,6	30
N7	0.6	70	10	20	0,6	0	30
N8	0.6	60	10	30	0,4	0,2	30
N9	0.6	80	20	0	0,4	0,6	30
N10	0.6	70	20	10	0,6	0,4	30
N11	0.7	60	20	20	0	0,2	30
N12	0.7	50	20	30	0,2	0	30
N13	0.7	70	30	0	0,6	0,2	30
N14	0.7	60	30	10	0,4	0	30
N15	0.6	50	30	20	0,2	0,6	30
N16	0.6	40	30	30	0	0,4	30

2.2.2. Numunelerin Hazırlanması

Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri için 4x4x16 cm boyutunda, kapılar su emme, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı deneyleri için ise 5x5x5 cm boyutlarında küp numuneler kullanılmıştır. Tüm numunelerin dökümü çelik kalıplara yapılmıştır ve her deney için üçer numune hazırlanıp ortalama sonuçları alınmıştır. Deneylerde kullanılan 4x4x16 ve 5x5x5 çelik kalıplar Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Deneylerde Kullanılan 4x4x16 ve 5x5x5 Çelik Kalıplar

Öncelikle kuru malzemeler homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra kullanılacak su hobart mikserine alınmış ve mikser çalışır durumdayken su içerisine kuru malzemeler ilave edilmiştir. Hazırlanan kuru karışım ve deneyde kullanılan hobart mikserine ait görsel Şekil 2.8’de gösterilmektedir. Malzemeler mikserde harç kıvamına gelinceye kadar yaklaşık iki dakika boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan sıva harcı önceden yağlanmış kalıplara her biri 25 kez şişlenerek üç kademede yerleştirilmiş, üst yüzeyi mala yardımıyla düzeltilmiştir. Numune alma işleminde TS-EN 196-7’den yararlanılmıştır [48]. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra numuneler 7 gün boyunca nemli bir ortamda bekletilmiş ardından sabit kütleye gelene kadar 40 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Nemli ortamda ve etüvde sabit kütleye gelinceye kadar bekletilen numuneler Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Hazırlanan Kuru Karışım ve Deneylerde Kullanılan Hobart Mikseri



Şekil 2.9. Nemli Ortamda ve Etüvde Bekletilen Numuneler

2.3. Taze ve Sertleşmiş Haldeki Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

2.3.1. Taze Haldeki Alçı Sıvalar Üzerinde Yapılan Deneyler

2.3.1.1. Yayılma Tablası Deneyi

Alçı sıva harçlarının kıvam tayini için yayılma masası yöntemi kullanılmış, deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak yapılmıştır.

Hazırlanan kuru karışım, suyun üzerine kontrollü hızda ilave edilmiş ve elle 1 dakika ön karıştırma yapılmıştır. Daha sonra, sıva alçısı hobart mikserine monte edilerek karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Çökme konisi, yayılma masasındaki plakanın merkezine yerleştirmiş ve bir elle

sıkıca yerinde tutulmuştur. Koni, taşacak miktarda alçı hamuru ile doldurulmuş koniden taşan kısmı mala yardımıyla sıyrılarak alınmıştır. 10-15 saniye sonra çökme hunisi düşey olarak kaldırılmış yayılma tablası, saniyede 1 düşü yaptırılarak 15 defa sabit hızda düşey olarak düşürülmüştür. Oluşan yayılma çapları birbirine dik iki doğrultuda ölçülmüştür (Şekil 2.10.). Uygulanan sıva alçısının yayılma çapı (160 ± 5) mm veya (165 ± 5) mm olduğunda gerekli kıvam sağlanmış demektir. Bütün seriler üzerinde deney yapılmış ve gerekli kıvam sağlanmıştır.



Şekil 2.10. Yayılma Tablası Deneyi

2.3.1.2. Priz Süresi Tayini

Alçı sıva harçlarının priz süresini belirlemek için vicat konisi yöntemi kullanılmıştır. Deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan kuru karışım, suyun üzerine kontrollü hızda ilave edilmiş, yaklaşık 2 dakika karıştırılmıştır. Alçının su ile karıştırıldığı ilk an kaydedilmiştir. Hazırlanan karışım vicat halkasına yerleştirilmiş, taşan kısım master ile alınmıştır. Ardından vicat iğnesi aletin içerisine yerleştirilmiş ve iğne sıva harcı yüzeyine kadar indirilmiştir. Ardından iğne hızla serbest bırakılmıştır. İğne ile cam plaka arasındaki mesafe ve süre kaydedilmiştir. Her batma işleminden sonra iğne temizlenmiş ve kurutulmuştur. Aynı numune üzerinde, birbirinden ve kenardan en az 12 mm mesafe kalacak şekilde ve konik batma iğnesinin batmaları arasında geçen süre priz başlangıç süresinin 20'de birinden uzun olmayacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.11.). Konik bata iğnesinin cam plakadan itibaren (22 ± 2) mm batma derinliğine ulaştığı an ile kuru karışım ve suyun ilk karıştırıldığı an arasında geçen süre priz başlangıç süresi olarak kaydedilmiştir.

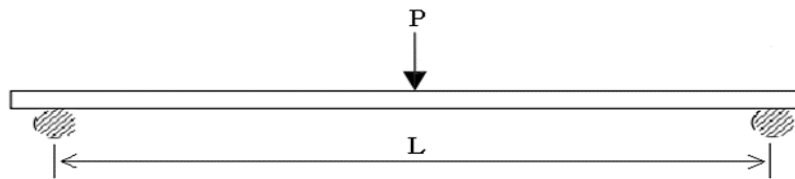


Şekil 2.11. Vicat Aleti ile Priz Süresi Belirlenmesi

2.3.2.Sertleşmiş Haldeki Alçı Sıvalar Üzerinde Yapılan Deneyler

2.3.2.1. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyi TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak Aslanlı Alçı ve Hammaddeleri firması kalite kontrol laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada aralarında 100 mm mesafe bulunan mesnetler üzerine yerleştirilen 4x4x16 mm boyutlarında sıva alçısı prizmasının kırılması için gerekli olan yük tayin edilmiştir (Şekil 2.12.). Yükleme hızı 50 N/s olarak seçilmiş ve numune kırılıncaya kadar yükleme işlemine devam edilmiştir. Her seri için üçer adet numune üzerinde 7 ve 28. günlerin sonunda deneyler yapılmış sonuçların ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Denklem 2.1’de belirtilen formül ile hesaplanmıştır. Eğilme ve basınç deneylerinde kullanılan alet Şekil 2.13’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Eğilme Dayanımı Deney Düzenegi

$$\text{Eğilme Dayanımı: } \sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{Denklem 2.1.})$$

Burada;

σ : Eğilme dayanımı (N/mm²)

P: Numunenin kırıldığı andaki yük (N)

L: Mesnetler arasındaki mesafe (mm)

b: Numunenin genişliği (mm)

d: Numunenin yüksekliği (mm)



Şekil 2.13. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi

2.3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanım deneyi TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak Aslanlı Alçı ve Hammaddeleri firması kalite kontrol laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanım deneyi her bir seri için üçer adet hazırlanan 4x4x16 cm boyutlarında numunelerin eğilme dayanım testinden kalan parçaları üzerinde 7 ve 28. günlerin sonunda uygulanmıştır. Deney parçaları ile plakalar arasına temas yüzeyi boyutu 4x4 cm ve düzgün yüzeyi pres üzerine denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Uygulanan numuneler için 2400 N/s sabit yükleme hızı seçilmiş ve deney numunesi kırılıncaya kadar yük uygulanmıştır. Her seri için üçer adet numune üzerinde deneyler yapılmış sonuçların ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar Denklem 2.2’de belirtilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Basınç Dayanımı: } R_c = \frac{F_c}{A} \quad (\text{Denklem 2.2.})$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm^2)

F : Kırılma anında ulaşılan maksimum yük (N)

A : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı kesit alanı (mm^2)

2.3.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Alçı sıvaların kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla uygulanan ultrases geçiş hızı deneyi TS EN 12504-4 [50] standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu deney ile numune içerisine gönderilen

ses dalgalarının geçiş süresiyle dalga hızı hesaplanmaktadır. Deneyde Pund-IT cihazı kullanılmış ve cihaz düz bir yüzeye kurularak kalibrasyonu 25,9 µs olarak ayarlanmıştır. Numune yüzeylerindeki boşlukları kapatmak amacıyla dalgalarının gönderildiği karşılıklı yüzeylere ultrasonik jel sürülmüştür. Deney her seriden 3 adet olmak üzere, 7 günlük 5x5x5 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır ve ortalamalar kaydedilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri Denklem 2.3’de gösterilen formül ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (\text{Denklem 2.3})$$

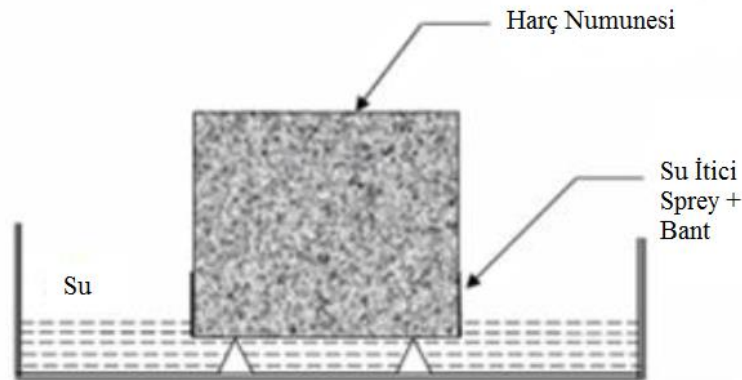
V: Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)

L: İki yüzey arası mesafe (mm)

t: Dalganın geçtiği süre (µs)

2.3.2.4. Kapiler Su Emme Deneyi

Kapiler su emme, numunenin taban yüzeyinin suya değdirilmesi ile suyun kılcallık yoluyla numune içindeki boşluklara zamanla yükselmesi olayıdır. Deneyde her bir seri için 3 adet 5x5x5 cm boyutlarında alçı sıva harçları üretilmiştir. Numunelerin sadece bir yüzeyinin suyla temas etmesini sağlamak numuneler yan taraflarından su itici sprej ile kaplanmış ardından da su geçirmeyen bant ile sarılmıştır. Numuneler sadece bir yüzeyinden su ile temas edecek şekilde mesnetler üzerine koyulmuştur (Şekil 2.14.). Numuneler su ile temas etmeye başladıktan sonra 1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 ve 360. dakikalarda ağırlıkları kaydedilmiştir. Denklem 2.4 ile kapiler su emme katsayıları hesaplanmıştır. Katsayı belirlenirken her bir zamana karşılık gelen Q/A değerleri arasındaki lineer ilişkinin eğiminden faydalanılmıştır.



Şekil 2.14. Kapiler Su Emme Deney Düzenegi [51]

$$\left(\frac{Q}{A}\right)^2 = k.t \quad (\text{Denklem 2.4.})$$

Q: Numunenin aldığı su miktarı (gr = cm³)

A: Numunelerin suyla temas eden yüzey alanı (cm²)

t: Numunelerin suyla temas ettiği süre (sn)

k: Kapiler Su Emme Katsayısı (cm²/sn = cm/sn^{1/2})

2.3.2.5. Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık deneyi her bir seri için 3 defa 5x5x5 cm boyutlarında olan numuneler üzerinde yapılmıştır. Deney yapılırken öncelikle numunelerin “ortam nemli ağırlıkları” kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat 20 °C sıcaklıkta su içerisinde bırakılmış, sonrasında sudan çıkarılarak “suya doymuş ağırlıkları” kaydedilmiştir. Numunelerin “ su içindeki ağırlıkları” Arşimet terazisi ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Numunelerin birim ağırlık değerleri Denklem 2.5 kullanılarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan Arşimet terazisi Şekil 2.15’de gösterilmektedir.

$$d = \frac{P_0}{P_1 - P_2} \quad (\text{Denklem 2.5.})$$

Burada;

P₀: Ortam nemli ağırlıklar (gr)

P₁: Suya doymuş ağırlık (gr)

P₂: Su içerisindeki ağırlık (gr)

d: Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)



Şekil 2.15. Arşimet Terazisi

2.3.2.6. SEM-EDS-XRD Analizleri

Çalışma kapsamında taramalı elektron mikroskobu, yani SEM analizleri numunelerden alınmış parçaların üzerleri altın kaplanarak, Munzur Üniversitesi Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre seçilen beş seri üzerinde SEM analizi gerçekleştirilmiş numunelerin içyapısındaki malzemelerin etkileşimi ve karışımının mikro yapısı incelenmiştir.

Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) görüntülenen yüzeydeki elementlerin enerjilerinden faydalanarak numunenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi verir. SEM analizi yapılan beş seride EDS analizi de yapılarak numunelerin kimyasal birleşimi incelenmiştir. Analizlerde kullanılan cihazlar Şekil 2.16'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Kaplama ve SEM Cihazı

X-ışını Difraktometresi (XRD) Analizi, toz haline getirilen numuneler üzerinde yapılan, numunelerin mineralojik bileşiminin bulunmasını ve içerisindeki elementlerin ortaya çıkmasını sağlayan analizdir. Deney sonuçlarına göre seçilen beş seri üzerinde yapılan XRD analizi Munzur Üniversitesi Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

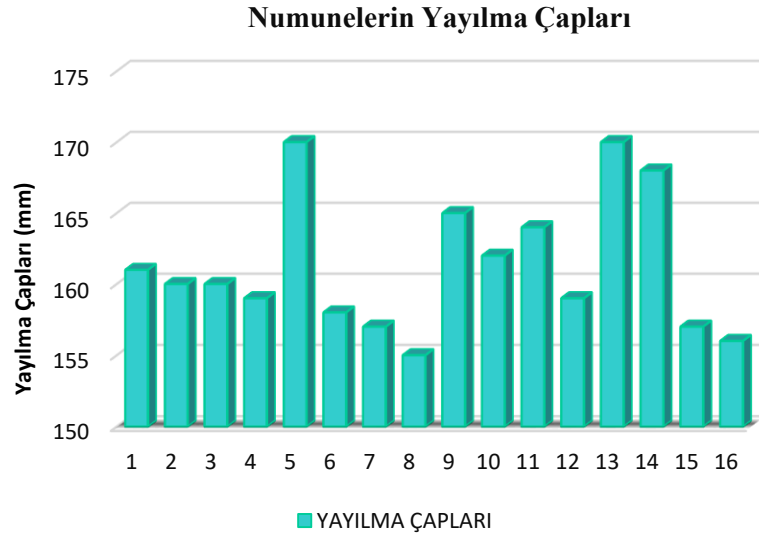
Bu bölümde doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıvaların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri Taguchi yöntemiyle analiz edilmiştir. Çizilen grafiklerle deney sonuçları yorumlanmış, parametre etkileri ve optimum değerleri belirlenmiştir

3.1. Alçı Sıva Karışımlarının Taze Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi

Alçı sıva harçlarının taze haldeki özelliklerini belirlemek için yapılan yayılma tablası ve priz süresi tayini deney sonuçları bu bölümde analiz edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

3.1.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları

Alçı sıva harçlarının kıvam tayini için yayılma masası yöntemi kullanılmış, deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Şekil 3.1 ve Tablo 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Yayılma Çapı Değerleri

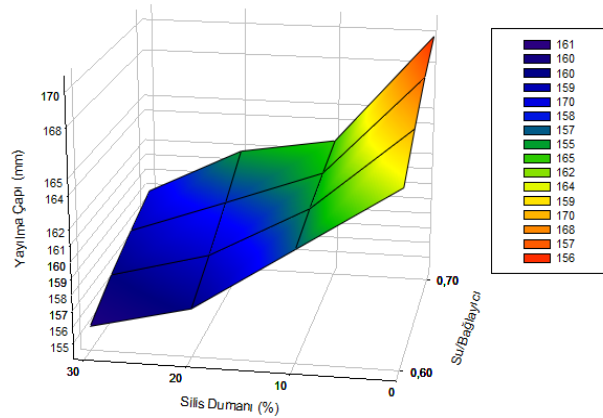
Tablo 3.1. Alçı Sıva Harçlarının Yayılma Çapı Değerleri

Seri No	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Yayılma Çapı (mm)
N1	0.6	0	0	0	0	161
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	160
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	160
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	159
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	170

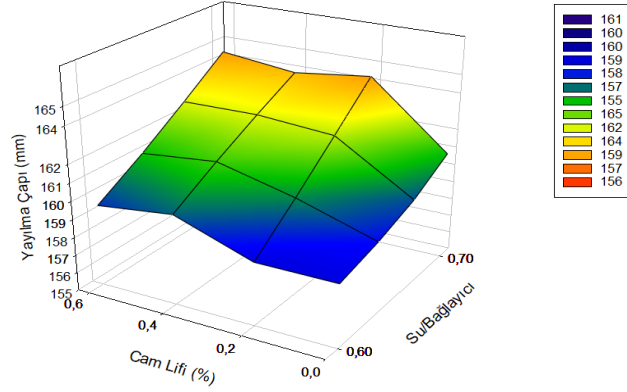
N6	0.7	10	10	0	0,6	158
N7	0.6	10	20	0,6	0	157
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	155
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	165
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	162
N11	0.7	20	20	0	0,2	164
N12	0.7	20	30	0,2	0	159
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	170
N14	0.7	30	10	0,4	0	168
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	157
N16	0.6	30	30	0	0,4	156

Bütün serilerin yayılma değerleri TS-EN 13279-2 standardına göre hedef aralıkta olduğundan Taguchi analizi yapılırken en büyük en iyi durumu dikkate alınmıştır. Yapılan Taguchi analizine göre; su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu ve yüksek fırın cürufunun %30, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6, kenevir lifinin %0,2 oranlarında kullanıldığı durumda yayılma değerinin en iyi seviyede olduğu görülmüştür. Optimum değerlere en yakın kombinasyonun, N5 serisi olduğu görülmektedir.

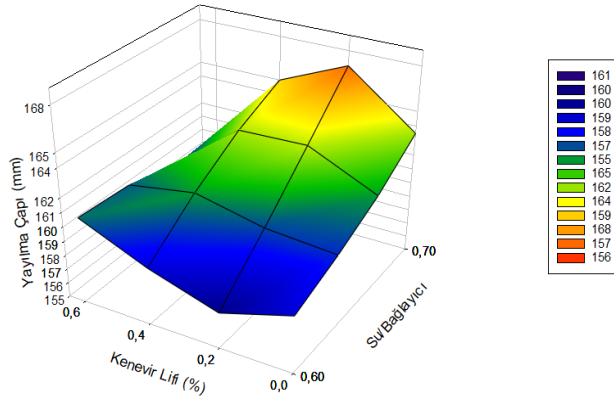
TS-EN 13279-2 standardına göre sıva alçısının yayılma çapı (160 ± 5) mm veya (165 ± 5) mm olduğunda gerekli kıvam sağlanmış demektir. Deney sonuçlarında görüldüğü gibi bütün seriler uygun yayılma çapını vermiştir. Parametre seviyelerinin yayılma değerleri üzerindeki etkisinin daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 3.2 – Şekil 3.4’de verilen üç boyutlu grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Yayılma Değerlerine Etkisi



Şekil 3.3. Cam Lifi ve Su/Bağlayıcı Parametrelerini Yayılma Değerlerine Etkisi



Şekil 3.4. Kenevir Lifi ve Su/Bağlayıcı Parametrelerini Yayılma Değerlerine Etkisi

Parametrelere göre yayılma değerlerinin gösterildiği Şekil 3.2 incelendiğinde silis dumanı oranının artmasının yayılma değerini düşürdüğü, su/bağlayıcı oranının artmasının yayılma değerini arttırdığı görülmektedir. En yüksek yayılma değeri, silis dumanının %0, su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu parametre seviyelerinde elde edilmiştir. Şekil 3.3'e göre cam lifi ve su/bağlayıcı oranının artması yayılma değerlerini arttırmıştır. En yüksek yayılma değeri, cam lifinin %0,6 ve su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu parametre seviyelerinde elde edilmiştir. Şekil 3.4'e göre en yüksek yayılma değeri, kenevir lifinin %0,2 ve su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu parametre seviyelerinde elde edilmiştir.

Taguchi analizinden sonra varyans analizi yapılmış ve parametrelerin yayılma değerleri üzerindeki etki yüzdeleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Yayılma Değerleri İçin Varyans Analizi Sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	76,6	76,56	5,98	0,134	22,04%
YFC (%)	3	27,7	9,23	0,72	0,626	7,97%
Silis Dumanı (%)	3	188,7	62,90	4,91	0,174	54,31%
Cam Lifi (%)	3	13,7	4,56	0,36	0,795	3,94%
Kenevir Lifi (%)	3	15,2	5,06	0,4	0,773	4,37%
Hata	2	25,6	12,81			7,38%
Toplam	15	347,4				100,00%

Serbestlik derecesi n-1 olarak tanımlanır. Su/bağlayıcı 2 seviyeli olduğundan (0.6 ve 0.7) serbestlik derecesi 1’dir. Diğer bütün parametreler 4 seviyeli olduğundan serbestlik derecesi 3’dür.

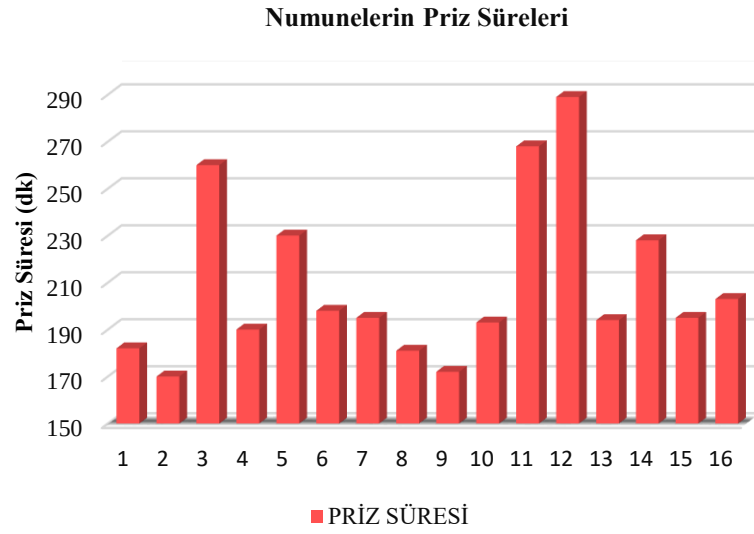
Herhangi bir parametrede hesaplanan P değerinin 0,05’den küçük olması, bu parametrenin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğunu belirtmektedir. Yayılma değerlerinin varyans analizi sonuçları incelendiğinde bütün değerlerin 0,05’in üzerinde olduğu görülmektedir.

Parametrelerin yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %54,31 ile silis dumanı olduğu görülmektedir. Ayrıca su/bağlayıcının %22,04, yüksek fırın cürufunun %7,97, cam lifinin %3,94 ve kenevir lifinin %4,37 oranında etkili olduğu görülmektedir. Hata satırı kontrol edilemeyen etkenlerin bütününün etki değerini göstermektedir ve bu değer %7,38’dir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, yüksek fırın cürufu oranının artması işlenebilirliği artırırken, silis dumanı oranının artması işlenebilirliği düşürmüştür. Ayrıca su/bağlayıcı oranı arttıkça işlenebilirliğin arttığı görülmüştür.

3.1.2. Priz Başlangıç Süresi Tayini Deney Sonuçları

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıva harçlarının priz süresini belirlemek için vicat konisi yöntemi kullanılmıştır. Deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Şekil 3.5 ve Tablo 3.3’de gösterilmektedir.



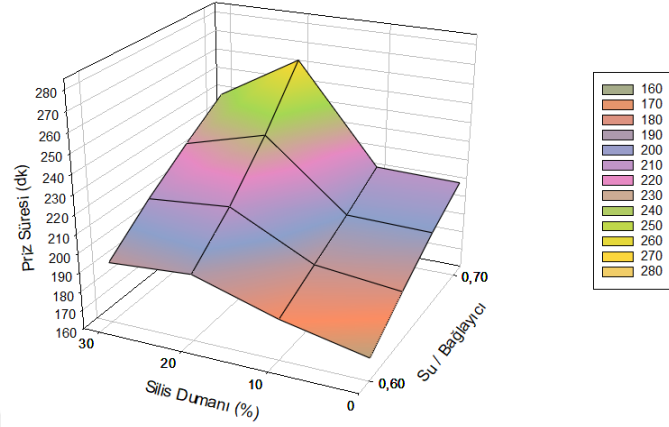
Şekil 3.5. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Priz Süreleri

Tablo 3.3. Alçı Sıva Harç Numunelerinin Priz Süresi Değerleri

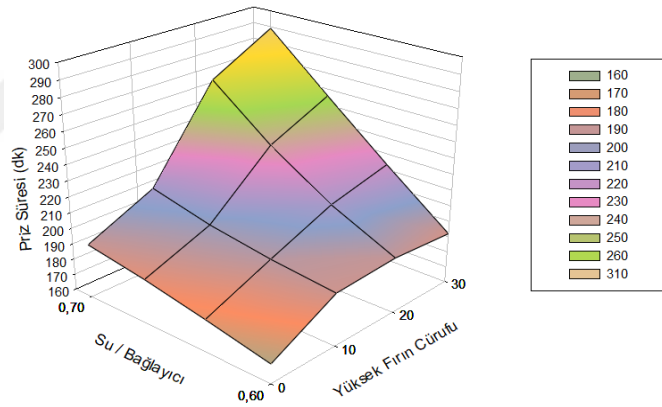
Seri No	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Priz Süresi (dk)
N1	0.6	0	0	0	0	182
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	170
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	260
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	190
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	230
N6	0.7	10	10	0	0,6	198
N7	0.6	10	20	0,6	0	195
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	181
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	172
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	193
N11	0.7	20	20	0	0,2	268
N12	0.7	20	30	0,2	0	289
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	194
N14	0.7	30	10	0,4	0	228
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	195
N16	0.6	30	30	0	0,4	203

Priz süresi işlenebilirlik için oldukça önemlidir. Priz süresinin optimum seçimi kullanım şartına göre değişmektedir. Fakat bu çalışma için sonuçlar değerlendirilirken bütün değerler TS-EN 13279-2 standardına göre hedeflenen aralıkta olduğu için en büyük en iyi durumu dikkate alınmıştır. Yapılan Taguchi analizine göre; su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu ve yüksek fırın cürufunun %30, silis dumanının %20, cam lifinin %0,2, kenevir lifinin %0,4 oranlarında kullanıldığı durumda priz süresinin en uzun olduğu görülmüştür. Optimum değerlere en yakın kombinasyonun, N12 serisi olduğu görülmektedir.

Parametre seviyelerinin priz süresi üzerindeki etkisinin daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilen üç boyutlu grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 3.6. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Priz Süresine Etkisi



Şekil 3.7. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Priz Süresine Etkisi

Parametrelere göre priz sürelerinin gösterildiği Şekil 3.6 incelendiğinde silis dumanı ve su/bağlayıcı oranının artmasının priz süresini uzattığı görülmektedir. En uzun priz süresi değeri, silis dumanının %20, su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu parametre seviyelerinde elde edilmiştir. Şekil 3.7’ye göre yüksek fırın cürufu ve su/bağlayıcı oranının artması priz süresi uzatmıştır. En uzun priz süresi değeri, yüksek fırın cürufunun %30 ve su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu parametre seviyelerinde elde edilmiştir.

Taguchi analizinden sonra varyans analizi yapılmış ve parametrelerin priz süresi üzerindeki etki yüzdeleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.4’de gösterilmektedir.

Tablo 3.4. Priz Süresi İçin Varyans Analizi Sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	8372,3	8372,25	179,57	0,006	45,89%
YFC (%)	3	2457,0	819,00	17,57	0,054	18,88%
Silis Dumanı (%)	3	3255,5	1085,17	23,27	0,041	21,07%
Cam Lifi (%)	3	1661,5	553,83	11,88	0,079	6,71%
Kenevir Lifi (%)	3	3237,5	1079,17	10,15	0,072	6,97%
Hata	2	93,2	46,62			0,49%
Toplam	15	19077,0				100,00%

Herhangi bir parametrede P değerinin 0,05’den küçük olması, bu parametrenin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğunu belirtmektedir. Priz süresi değerlerinin varyans analizi sonuçları incelendiğinde su/bağlayıcı oranının ve silis dumanının P değerinin 0,05’den küçük olduğu görülmektedir. Su/bağlayıcı oranı, 0,006 P değeri ile priz süresi üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu aynı zamanda silis dumanının da 0,041 P değeri ile deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Parametrelerin etki dereceleri F değerine göre sıralandığında aynı şekilde su/bağlayıcı oranının en yüksek F değerine sahip olduğu ve priz süresi üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir.

Parametrelerin priz süresi üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %45,89 ile su/bağlayıcı oranının olduğu görülmektedir. Ayrıca silis dumanının %21,07, yüksek fırın cürufunun %18,88 oranında etkili olduğu görülmektedir. Kullanılan liflerin etki oranlarının diğer parametrelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Hata satırı kontrol edilemeyen etkenlerin bütününe etki değerini göstermektedir ve bu değer %0,49’dur.

Priz süresi malzemenin işlenebilirliği için oldukça önemli bir parametredir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu oranının artması priz süresini uzatmıştır. Yani kullanılan ham alçı oranı arttıkça priz süresi kısalmıştır. Deneylerde kullanılan ham alçının priz süresinin 8 -10 dk arasında olduğu bilinmektedir ve bu süre TS-EN 13279-1 standardına göre sıva alçısı için gerekli şartları sağlamamaktadır. Priz geciktirici olarak kullanılan tartarik asitin ve çalışmada kullanılan puzolanların priz süresinin uzaması ve gerekli şartların sağlanması üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

3.2. Alçı Sıva Numunelerinin Sertleşmiş Haldeki Özelliklerinin Belirlenmesi

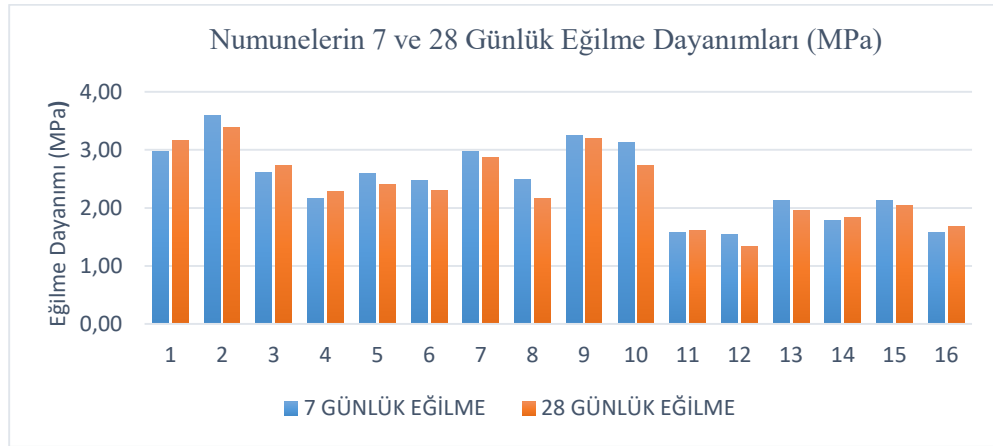
Alçı sıva numunelerinin sertleşmiş haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kapilerite, birim ağırlık deneyleri ve SEM-EDS-XRD analiz sonuçları bu bölümde yorumlanmıştır.

3.2.1. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıvaların eğilme dayanımlarını belirlemek her seriden üç adet numunenin 7. gün sonunda, üç adet numunenin 28. gün sonunda kırılmaları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Tablo 3.5’de, eğilme dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Alçı Sıva Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri

Seri No	Deney Parametreleri					7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	2,967	3,170
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	3,593	3,388
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	2,615	2,739
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	2,162	2,289
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	2,598	2,400
N6	0.7	10	10	0	0,6	2,467	2,298
N7	0.6	10	20	0,6	0	2,967	2,873
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	2,488	2,166
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	3,248	3,195
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	3,136	2,737
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,580	1,611
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,541	1,332
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	2,122	1,947
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,776	1,845
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	2,121	2,037
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,587	1,680



Şekil 3.8. 7 ve 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri

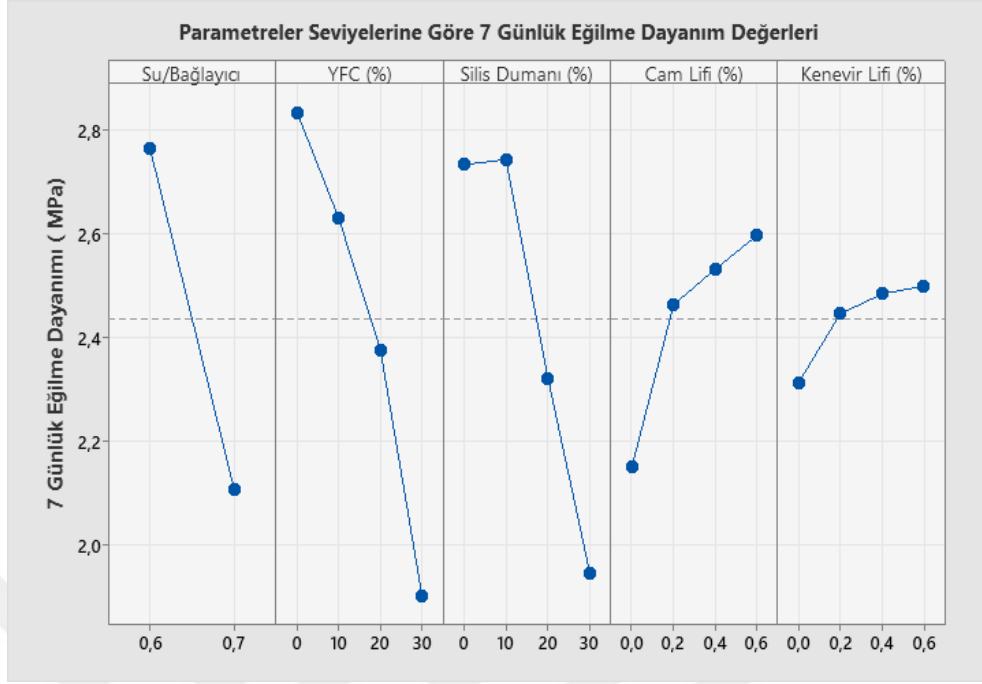
7 Günlük Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

7 günlük eğilme dayanımı değerleri Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. Dayanımların yüksek olması istendiğinden S/N oranı hesaplanırken “en büyük-en iyi” durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.1 ile hesaplamalar yapılmıştır. 7 günlük eğilme dayanımlarına ait S/N oranları Tablo 3.6’da gösterilmektedir. Analiz sonuçları Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da gösterilmektedir.

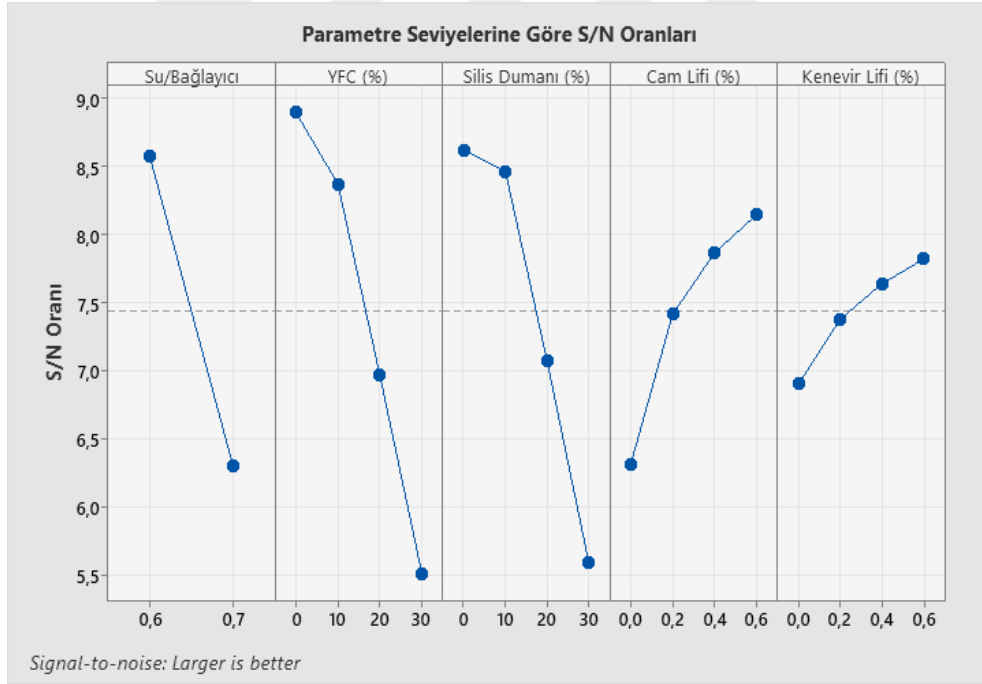
$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{Denklem 3.1.})$$

Tablo 3.6. Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Eğilme Dayanımları ve S/N Oranları

Seri No	Deney Parametreleri					7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	S/N Oranı
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	2,967	9,45
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	3,593	11,11
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	2,615	8,35
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	2,162	6,70
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	2,598	8,29
N6	0.7	10	10	0	0,6	2,467	7,84
N7	0.6	10	20	0,6	0	2,967	9,45
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	2,488	7,92
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	3,248	10,23
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	3,136	9,93
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,580	3,98
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,541	3,76
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	2,122	6,53
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,776	4,99
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	2,121	6,53
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,587	4,01



Şekil 3.9. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri



Şekil 3.10. Parametre Seviyelerine Göre 7 Günlük Eğilme Dayanımına Ait S/N Oranları

Parametre seviyelerine göre 7 günlük eğilme dayanımı değerleri (Şekil 3.9) ve parametre seviyelerine göre 7 günlük eğilme dayanımına ait S/N oranları (Şekil 3.10) incelendiğinde; su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,6 oranlarında kullanıldığı parametre seviyeleri, 7 günlük eğilme dayanımı ve S/N oranının en yüksek olduğu seviyelerdir. Bu değerler dayanımın optimum olduğu seviyeleri

göstermektedir. Optimum değerlere en yakın serinin; su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, silis dumanının %10, yüksek fırın cürufunun %0, cam lifinin %0,2 ve kenevir lifinin %0,2 oranında kullanıldığı N2 serisi olduğu görülmektedir.

Taguchi analizinin ardından varyans analizi ile parametrelerin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri üzerindeki etki yüzdeleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.7’de gösterilmektedir.

Tablo 3.7. 7 Günlük Eğilme Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları

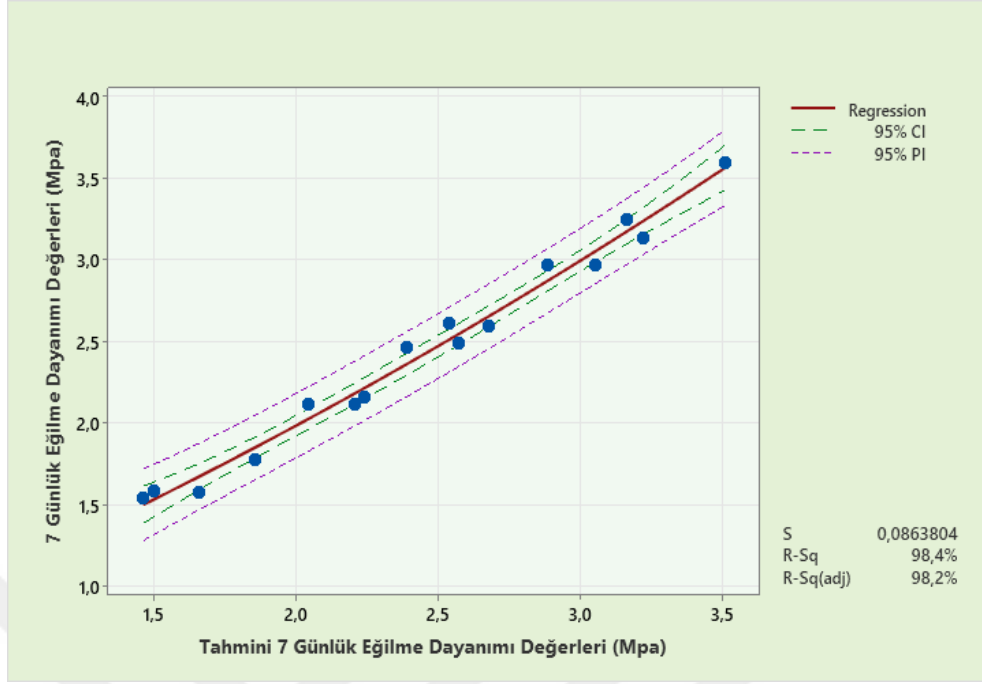
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	1,72	1,7	32,0	0,030	28,30%
YFC (%)	3	1,94	1,9	12,0	0,078	31,98%
Silis Dumanı (%)	3	1,75	1,8	10,9	0,086	28,81%
Cam Lifi (%)	3	0,47	0,5	2,9	0,266	7,73%
Kenevir Lifi (%)	3	0,09	0,1	0,5	0,703	1,42%
Hata	2	0,11	0,1			1,77%
Toplam	15	6,08				100,00%

Varyans analizi sonuçları incelendiğinde; P değeri 0,05’den küçük olan tek parametre su/bağlayıcı oranıdır. Bu yüzden 0,030 P değeri ile deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğu söylenilebilir. F değerlerine göre kıyaslama yaparsak aynı şekilde en yüksek F değerinin su/bağlayıcı oranına ait olduğu görülmektedir.

Parametrelerin 7 günlük eğilme dayanımları üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %31,98 ile silis dumanı olduğu, ayrıca silis dumanının %28,81, su/bağlayıcı oranının %28,30 oranında etkili olduğu görülmektedir. Hata satırı kontrol edilemeyen etkenlerin bütününe etki değerini göstermektedir ve bu değer %1,77’dir.

Elde edilen deney verilerine göre analizler yapıldıktan sonra Minitab programında regression denklemi oluşturulmuş ve tahmini Taguchi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3.11’de, oluşturulan regression denklemi Denklem 3.2’de gösterilmektedir.

$$7 \text{ Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)} = 7,273 - 6,56\text{Su/Bağlayıcı} - 0,03053\text{YFC} - 0,02789\text{S.D} + 0,704\text{C.L} + 0,299\text{K.L} \quad (\text{Denklem 3.2.})$$



Şekil 3.11. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri

Şekil 3.11 incelendiğinde; CI çizgisi güven aralığını gösterirken, PI çizgisi tahmini değerlerin sınırını göstermektedir. Deney verilerine göre elde edilen değerlerin güven aralığı içerisinde ve regression çizgisine yakın olması istenir. R-Sq değeri ise oluşturulan modelin güvenilirliğini gösteren değerdir ve %85'in üzerinde olması istenir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi elde edilen veriler regression çizgisine yakın ve güven aralığı içerisindedir. Aynı zamanda R-Sq değeri %98,4 olarak bulunmuştur, bu durum oluşturduğumuz modelin güvenli olduğunu göstermektedir.

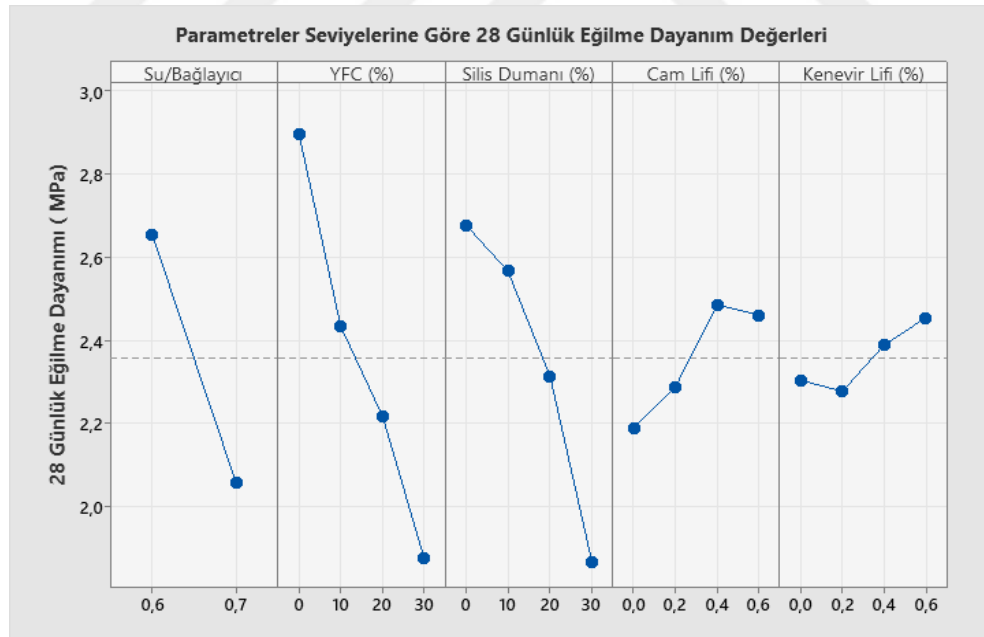
28 Günlük Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

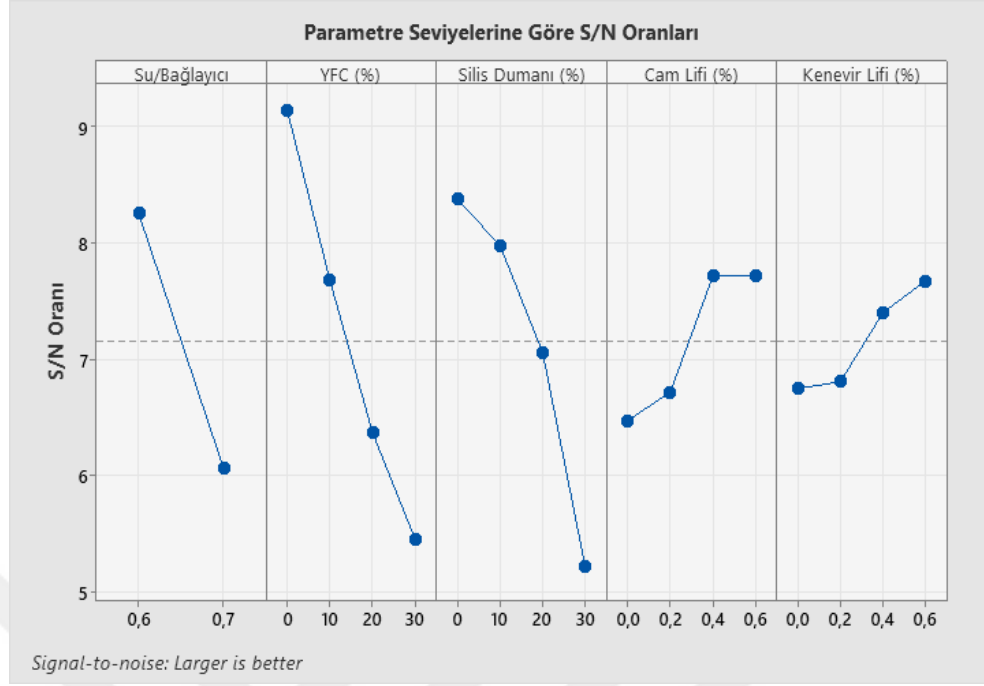
28 günlük eğilme dayanımı değerleri Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. Dayanımların yüksek olması istendiğinden S/N oranı hesaplanırken “en büyük-en iyi” durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.3 ile hesaplamalar yapılmıştır. 28 günlük eğilme dayanımlarına ait S/N oranları Tablo 3.8'de gösterilmektedir. Analiz sonuçları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de gösterilmektedir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{Denklem 3.3.})$$

Tablo 3.8. Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımları ve S/N Oranları

Seri No	Deney Parametreleri					28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	S/N Oranı
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	3,170	10,02
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	3,388	10,60
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	2,739	8,75
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	2,289	7,19
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	2,400	7,61
N6	0.7	10	10	0	0,6	2,298	7,23
N7	0.6	10	20	0,6	0	2,873	9,17
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	2,166	6,71
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	3,195	10,09
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	2,737	8,75
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,611	4,14
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,332	2,49
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	1,947	5,79
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,845	5,32
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	2,037	6,18
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,680	4,51

**Şekil 3.12.** Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri



Şekil 3.13. Parametre Seviyelerine Göre 28 Günlük Eğilme Dayanımına Ait S/N Oranları

Parametre seviyelerine göre 28 günlük eğilme dayanımı değerleri (Şekil 3.12) ve parametre seviyelerine göre 28 günlük eğilme dayanımlarına ait S/N oranları (Şekil 3.13) incelendiğinde; su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,6 oranlarında kullanıldığı parametre seviyeleri, 28 günlük eğilme dayanımının optimum olduğu seviyeleri göstermektedir. Optimum değerlere en yakın serinin; su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, silis dumanının %10, yüksek fırın cürufunun %0, cam lifinin %0,2 ve kenevir lifinin %0,2 oranında kullanıldığı N2 serisi olduğu görülmektedir.

Taguchi analizinin ardından 28 günlük eğilme dayanımı değerleri üzerinde varyans analizi yapılarak parametrelerin etki yüzdeleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.9’da gösterilmektedir.

Tablo 3.9. 28 Günlük Eğilme Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları

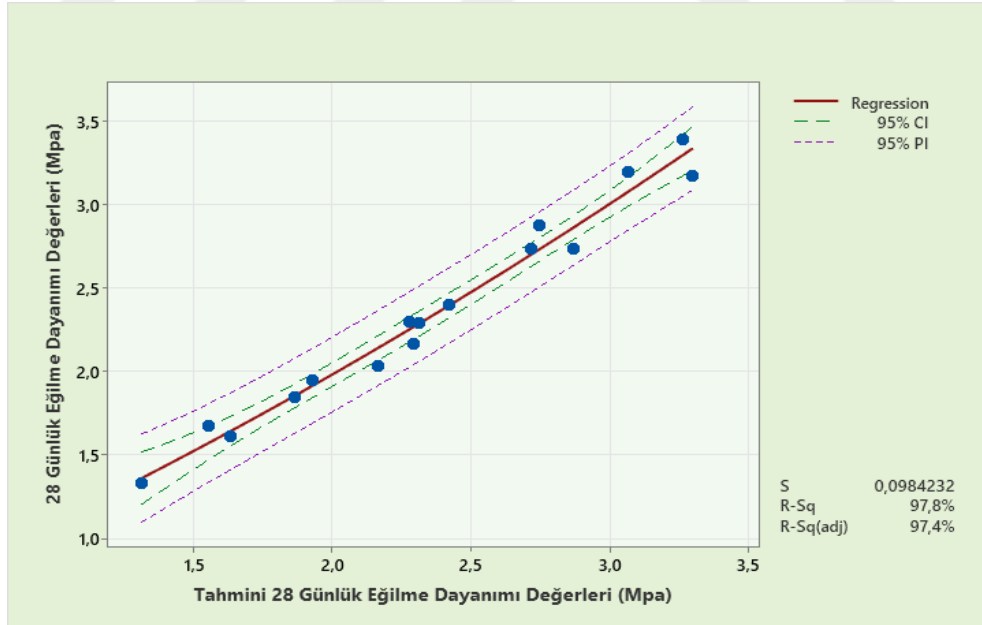
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	1,4	1,43	21,15	0,044	25,43%
YFC (%)	3	2,2	0,73	10,76	0,086	38,82%
Silis Dumanı (%)	3	1,6	0,52	7,67	0,117	27,68%
Cam Lifi (%)	3	0,2	0,08	1,19	0,488	4,27%
Kenevir Lifi (%)	3	0,1	0,03	0,39	0,778	1,40%
Hata	2	0,1	0,07			2,40%
Toplam	15	5,6				100,00%

Varyans analizi yanıt verileri incelendiğinde; P değeri 0,05’den küçük olan tek parametrenin su/bağlayıcı oranı olduğu ve bu parametrenin 0,044 P değeri ile istatistiksel açıdan anlamlı tek parametre olduğu görülmektedir. F değerlerine göre kıyaslama yapıldığında aynı şekilde en yüksek F değerinin su/bağlayıcı oranına ait olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerin P değerleri 0,05’in üstündedir ve etki değerleri su/bağlayıcı oranına göre daha düşüktür.

Parametrelerin 28 günlük eğilme dayanımları üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %38,82 ile yüksek fırın cürufu olduğu, silis dumanının %27,68, su/bağlayıcı oranının %25,43 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin, kenevir lifine oranla etki yüzdesi daha yüksektir. Kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününün etki değerini göstermektedir ve bu oran 28 günlük eğilme dayanımı için %2,40’dır.

Minitab programında regression denklemi oluşturulmuş ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri için tahmini Taguchi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3.14’de, oluşturulan regression denklemi Denklem 3.4’de gösterilmektedir.

$$28 \text{ Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)} = 6,901 - 5,980\text{Su/Bağlayıcı} - 0,03272\text{YFC} - 0,02686\text{S.D} + 0,506\text{C.L} + 0,281\text{K.L} \quad (\text{Denklem 3.4.})$$



Şekil 3.14. Tahmini ve Gerçek 28 Günlük Eğilme Dayanımı Değerleri

Tahmini ve gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik (Şekil 3.14) incelendiğinde; gerçek değerlerin regression çizgisine yakın ve güven aralığı içerisinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda R-Sq değeri %97,80 olarak bulunmuştur ve değer istenilen minimum şartların üzerindedir. Bu durum oluşturulan modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.

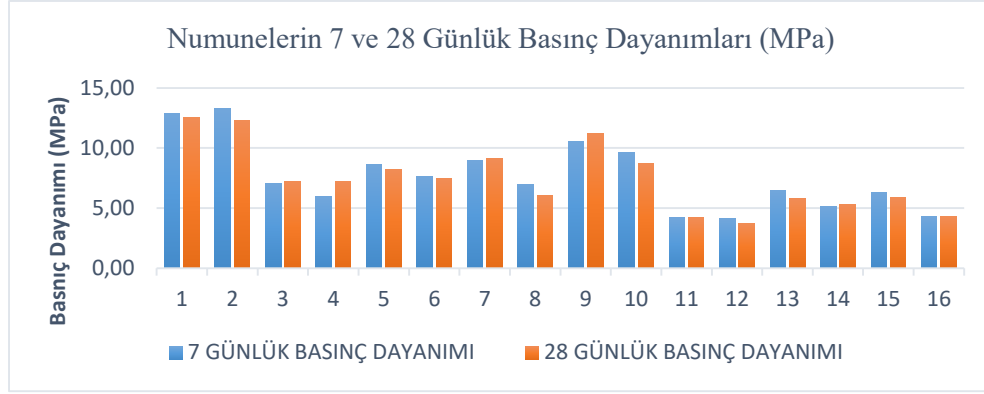
7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde; silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkısının eğilme dayanımı değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Pozolanların %10 oranına kadar kullanılması dayanımda çok fazla kayıp sağlamazken, %10'dan fazla kullanılması dayanımları ciddi oranda düşürmüştür. Bu durum bu konuda daha önce yapılan çalışmaları desteklemektedir. [37] Lif katkısı arttıkça 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür ve literatüre paralel veriler elde edilmiştir. [36] 7 günlük dayanımlarda, erken dayanıma fayda sağlayan silis dumanının etki oranı daha yüksekken, 28 günlük dayanımlarda, nihai dayanıma fayda sağlayan yüksek fırın cürufunun etki oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

3.2.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş pozolan ikameli alçı sıvaların basınç dayanım değerlerini belirlemek için her seriden üç adet numunenin 7. Gün sonunda, üç adet numunenin ise 28. Gün sonunda kırılmaları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deney TS-EN 13279-2 [49] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 3.10'da, basınç dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 3.15'de gösterilmektedir.

Tablo 3.10. Alçı Sıva Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri

Seri No	Deney Parametreleri					7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	12,910	3,170
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	13,319	3,388
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	7,052	2,739
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	5,935	2,289
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	8,611	2,400
N6	0.7	10	10	0	0,6	7,620	2,298
N7	0.6	10	20	0,6	0	8,997	2,873
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	6,990	2,166
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	10,542	3,195
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	9,634	2,737
N11	0.7	20	20	0	0,2	4,206	1,611
N12	0.7	20	30	0,2	0	4,156	1,332
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	6,488	1,947
N14	0.7	30	10	0,4	0	5,155	1,845
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	6,306	2,037
N16	0.6	30	30	0	0,4	4,307	1,680



Şekil 3.15. 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri

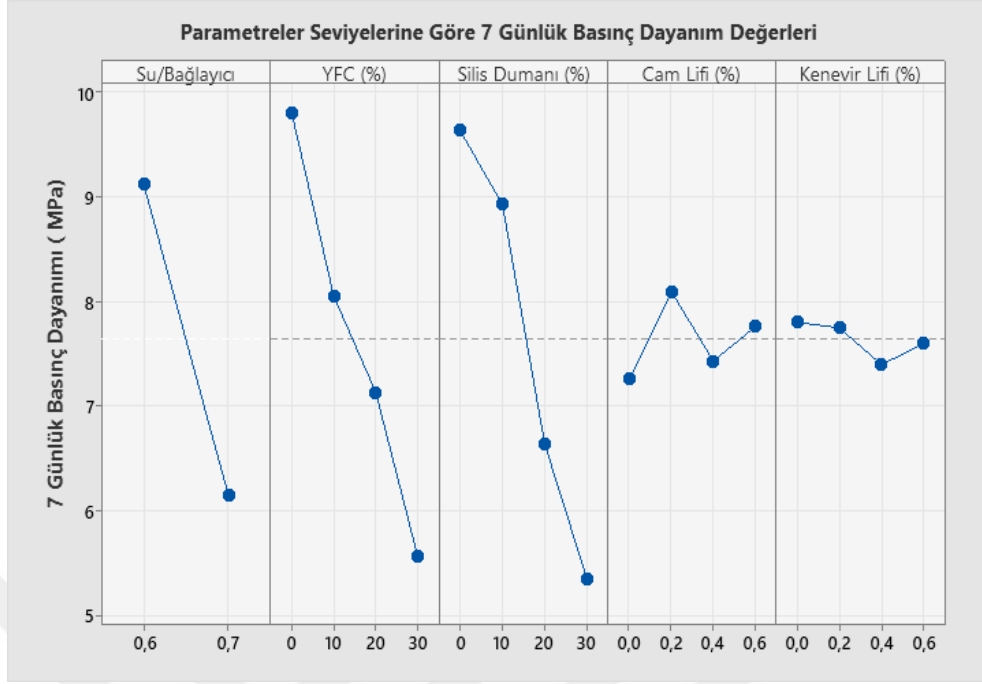
7 Günlük Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

7 günlük basınç dayanımı değerleri Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. Dayanımların yüksek olması istendiğinden S/N oranı hesaplanırken “en büyük-en iyi” durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.5 kullanılarak S/N oranları hesaplanmıştır. Alçı sıva numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları ve S/N oranları Tablo 3.11’de gösterilmektedir. Analiz sonuçları Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de belirtilmiştir.

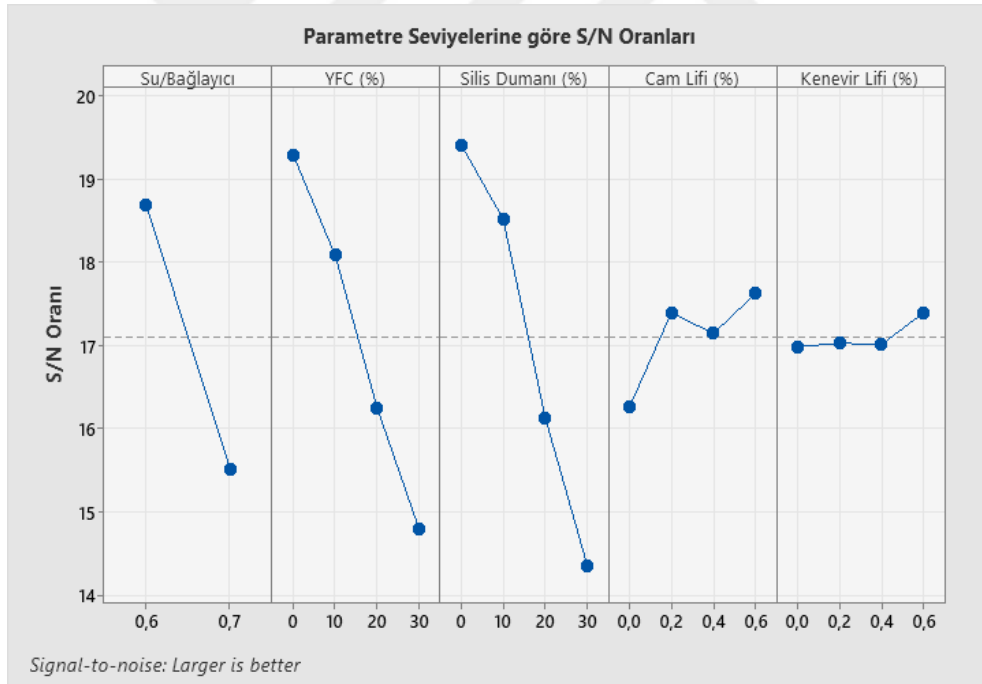
$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{Denklem 3.5.})$$

Tablo 3.11. Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımları ve S/N Oranları

Seri No	Deney Parametreleri					7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	S/N Oranı
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	12,910	22,22
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	13,319	22,49
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	7,052	16,97
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	5,935	15,47
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	8,611	18,70
N6	0.7	10	10	0	0,6	7,620	17,64
N7	0.6	10	20	0,6	0	8,997	19,08
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	6,990	16,89
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	10,542	20,46
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	9,634	19,68
N11	0.7	20	20	0	0,2	4,206	12,48
N12	0.7	20	30	0,2	0	4,156	12,37
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	6,488	16,24
N14	0.7	30	10	0,4	0	5,155	14,24
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	6,306	16,00
N16	0.6	30	30	0	0,4	4,307	12,68



Şekil 3.16. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri



Şekil 3.17. Parametre Seviyelerine Göre 7 Günlük Basınç Dayanımına Ait S/N Oranları

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 incelendiğinde; basınç dayanımının optimum olduğu parametre seviyelerinin, su/bağlayıcı oranının 0,6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,6 oranında kullanıldığı seviyeler olduğu görülmektedir. Optimum değerlere en yakın deney kombinasyonunun su/bağlayıcı oranının 0,6 olduğu, yüksek

fırın cürufunun %0, silis dumanının %10, kenevir lifinin %0,2 ve cam lifinin %0,2 oranlarında kullanıldığı N2 serisidir.

Taguchi analizinin ardından 7 günlük basınç dayanımı değerleri üzerinde varyans analizi yapılarak parametrelerin etki yüzdesi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.12’de belirtilmiştir.

Tablo 3.12. 7 Günlük Basınç Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları

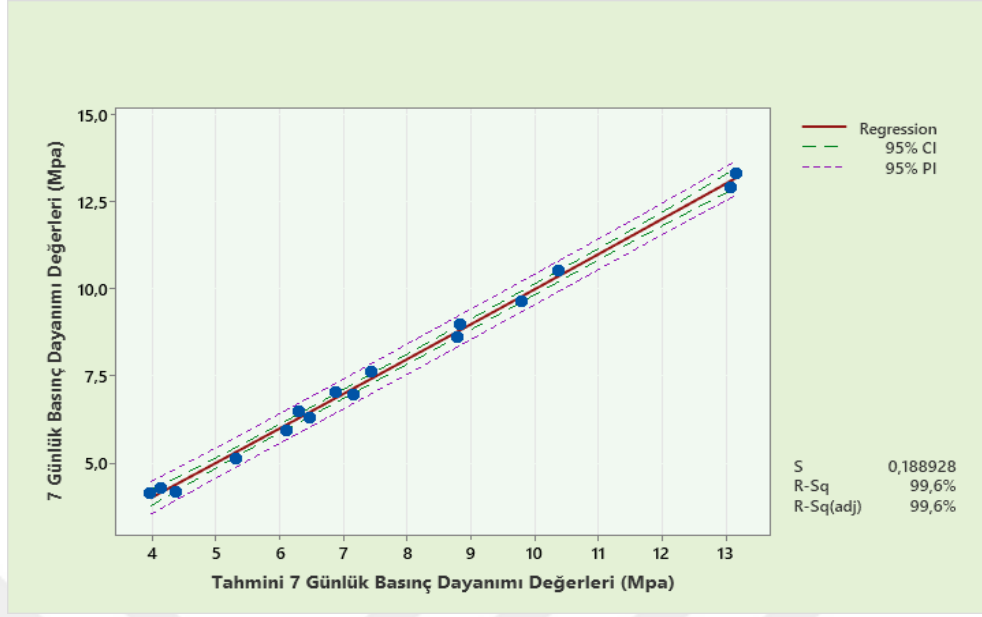
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	35,3	35,35	151,19	0,007	28,69%
YFC (%)	3	37,7	12,56	53,72	0,018	30,58%
Silis Dumanı (%)	3	47,7	15,89	67,96	0,015	38,69%
Cam Lifi (%)	3	1,6	0,55	2,34	0,313	1,33%
Kenevir Lifi (%)	3	0,4	0,13	0,56	0,692	0,32%
Hata	2	0,5	0,23			0,38%
Toplam	15	123,2				100,00%

Değerlendirilen bir parametrenin P değerinin 0,05’den küçük olması, bu parametrenin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğunu göstermektedir. 7 günlük basınç dayanımının varyans analizi sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.12), su/bağlayıcı oranı, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı parametrelerinin P değerlerinin 0,05’in altında olduğu ve bu parametrelerin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğu söylenilebilir. 0,007 P değeri ile su/bağlayıcı oranı, 0,018 P değeri ile yüksek fırın cürufu ve 0,015 P değeri ile silis dumanı istatistiksel açıdan 7 günlük basınç dayanımı üzerinde anlamlı parametrelerdir. F değerlerine göre sıralama yapılırsa aynı şekilde en etkili parametre su/bağlayıcı iken onu silis dumanı ve yüksek fırın cürufu takip etmektedir.

Parametrelerin 7 günlük basınç dayanımları üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %38,69 ile silis dumanı olduğu, yüksek fırın cürufunun % 30,58, su/bağlayıcı oranının %28,69 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin etki yüzdesi %1.33 iken kenevir lifinin etki yüzdesi %0,38’dir. Kullanılan elyafların 7 günlük basınç dayanımı üzerinde etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hata satırı kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününe etki değerini göstermektedir ve bu oran 7 günlük basınç dayanımı için %0,38’dir.

Minitab programında regression denklemi oluşturulmuş ve 7 günlük basınç dayanımı değerleri için tahmini Taguchi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3.18’de, oluşturulan regression denklemi Denklem 3.6’da gösterilmektedir.

$$7 \text{ Günlük Basınç Dayanımı (MPa)} = 31.30 - 27.93\text{Su/Bağlayıcı} - 0.1364\text{YFC} - 0.1516\text{S.D} + 0.423\text{C.L} - 0.480\text{K.L} \quad (\text{Denklem 3.6.})$$



Şekil 3.18. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri

28 Günlük Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

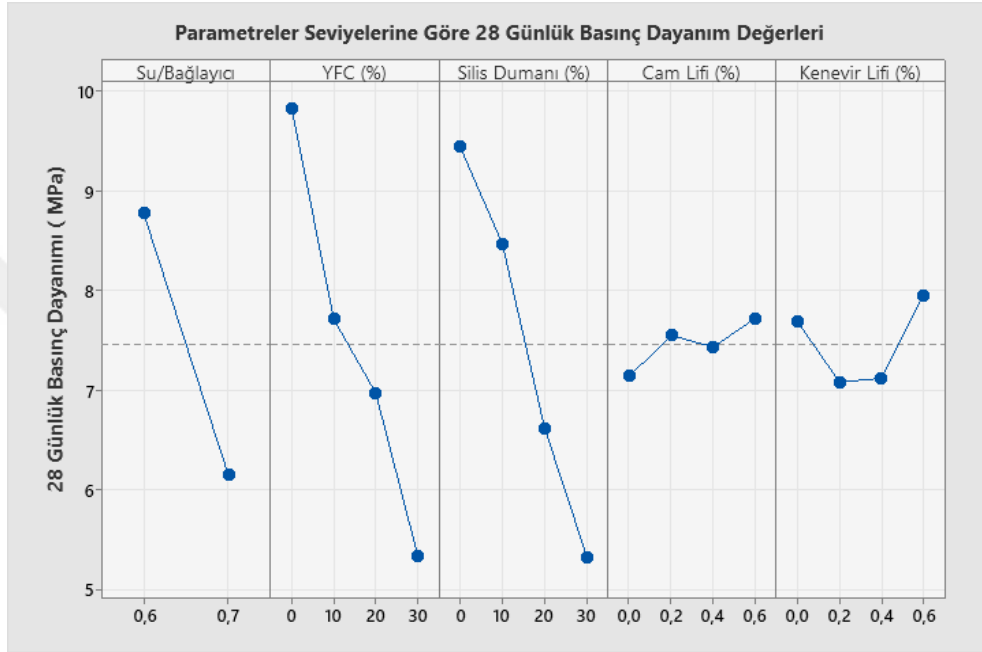
Alçı sıva numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri Taguchi analiz metodu değerlendirilmiştir. Basınç dayanımlarının yüksek olması istendiği için S/N oranı hesaplanırken “en büyük-en iyi” durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.7 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Alçı sıva numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ve S/N oranları Tablo 3.13’de gösterilmektedir. Analiz sonuçları Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de belirtilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (\text{Denklem 3.7.})$$

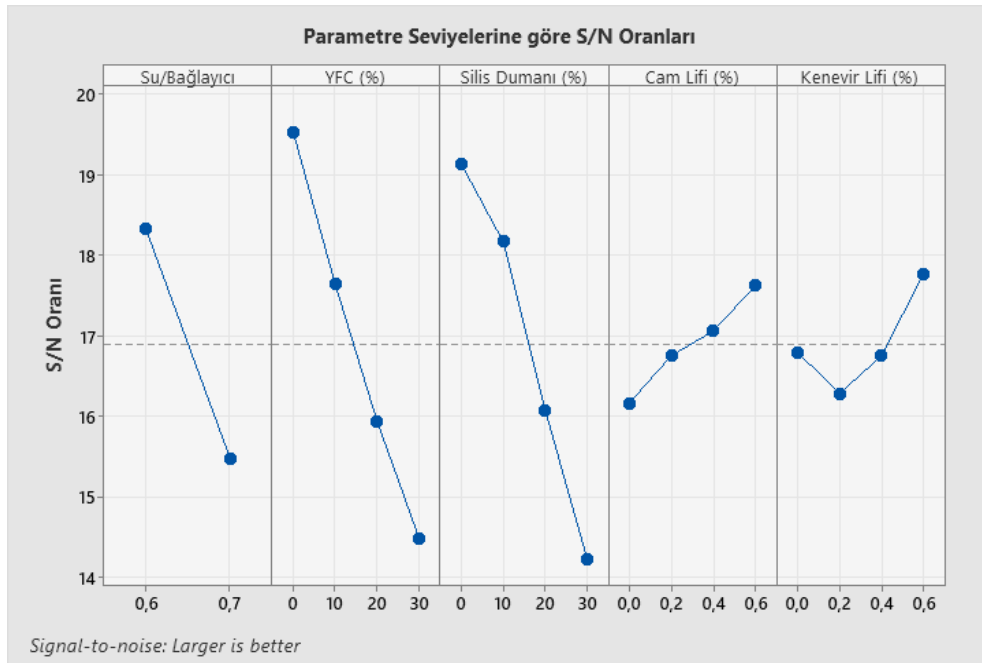
Tablo 3.13. Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımları ve S/N Oranları

Seri No	Deney Parametreleri					28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	S/N Oranı
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	12,553	21,98
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	12,329	22,01
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	7,197	17,14
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	7,229	17,18
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	8,226	18,30
N6	0.7	10	10	0	0,6	7,478	17,48
N7	0.6	10	20	0,6	0	9,145	19,22
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	6,002	15,57
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	11,203	20,99

N10	0.6	20	10	0,6	0,4	8,736	18,83
N11	0.7	20	20	0	0,2	4,211	12,49
N12	0.7	20	30	0,2	0	3,736	11,45
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	5,791	15,26
N14	0.7	30	10	0,4	0	5,331	14,54
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	5,911	15,43
N16	0.6	30	30	0	0,4	4,325	12,72



Şekil 3.19. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin 28 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri



Şekil 3.20. Parametre Seviyelerine Göre 28 Günlük Basınç Dayanımına Ait S/N Oranları

Parametre seviyelerine göre 28 günlük basınç dayanımına ait S/N oranları ve parametre seviyelerine ait 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde; basınç dayanımının su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,6 oranında kullanıldığı parametre seviyelerinde optimum olduğu görülmektedir. Optimum değerlere en yakın deney kombinasyonunun su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %10, kenevir lifinin %0,2 ve cam lifinin %0,2 oranlarında kullanıldığı N2 serisidir.

28 günlük basınç dayanımı değerleri üzerinde varyans analizi yapılmış ve parametrelerin etki oranları incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.14’de belirtilmiştir.

Tablo 3.14. 28 Günlük Basınç Dayanımlarına Ait Varyans Analizi Sonuçları

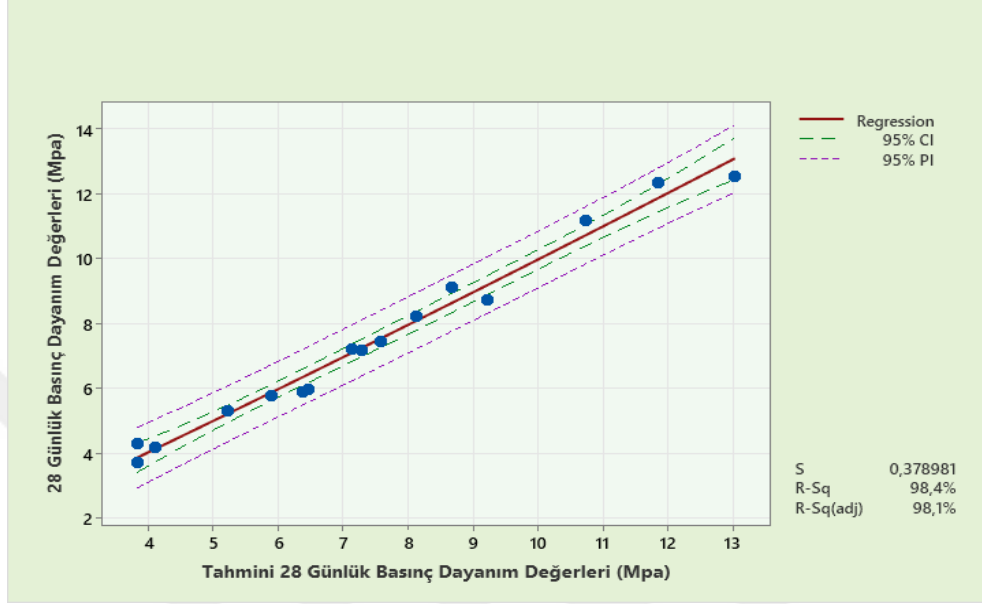
Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	27,6	27,57	29,27	0,033	23,99%
YFC (%)	3	41,6	13,87	14,72	0,064	36,21%
Silis Dumanı (%)	3	40,9	13,64	14,48	0,065	35,60%
Cam Lifi (%)	3	0,7	0,24	0,26	0,854	0,63%
Kenevir Lifi (%)	3	2,2	0,74	0,79	0,602	1,93%
Hata	2	1,9	0,94			1,64%
Toplam	15	114,9				100,00%

Değerlendirilen parametreye ait P değerinin 0,05’den küçük olması, bu parametrenin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğunu göstermektedir. 28 günlük basınç dayanımına ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.14), 0,003 P değeri ile su/bağlayıcı oranının deney kalitesi üzerinde tek anlamlı parametre olduğu görülmektedir. Diğer parametrelere ait P değeri 0,05’in üzerindedir. F değerlerine göre sıralama yapılırsa aynı şekilde 28 günlük basınç dayanımı üzerinde en etkili parametre su/bağlayıcı iken onu yüksek fırın cürufu ve silis dumanı takip etmektedir.

Parametrelerin 28 günlük basınç dayanımları üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %36,21 ile yüksek fırın cürufu olduğu, silis dumanının %35,60, su/bağlayıcı oranının %23,99 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin etki yüzdesi %0.63 iken kenevir lifinin etki yüzdesi %1,93’dür. Kullanılan liflerin 28 günlük basınç dayanımı üzerinde etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hata yüzdesi kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütünüünün etki değerini göstermektedir ve bu oran 7 günlük basınç dayanımı için %1,64’dür.

Minitab programında regression denklemi oluşturulmuş ve 7 günlük basınç dayanımı değerleri için tahmini Taguchi sonuçları hesaplanmıştır. Elde edilen tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3.21’de, oluşturulan regression denklemi Denklem 3.8’de gösterilmektedir.

$$28 \text{ Günlük Basınç Dayanımı (MPa)} = 28,42 - 26,25\text{Su/Bağlayıcı} - 0,1364\text{YFC} - 0,1420\text{S.D} + 0,816\text{C.L} + 0,415\text{K.L} \quad (\text{Denklem 3.8.})$$



Şekil 3.21. Tahmini ve Gerçek 7 Günlük Basınç Dayanımı Değerleri

Şekil 3.21 incelendiğinde; CI güven aralığını gösterirken, PI tahmini değerlerin sınırını göstermektedir. Gerçek değerlerin regression çizgisine yakın ve güven aralığı içerisinde olması istenmektedir. Yapılan analiz sonucunda değerlerin güven aralığı içerisinde ve regression çizgisine yakın olduğu görülmüştür. Aynı zamanda R-Sq değerinin %85'in üzerinde olması istenir. Oluşturulan modelde R-Sq değerinin %98,40 olduğu görülmüştür. Bu durum oluşturulan modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.

7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri incelendiğinde; silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkısının basınç dayanımı değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Puzolanların %10 oranına kadar kullanılması dayanımda çok fazla kayıp oluşturmazken, %10'dan fazla kullanılması dayanımları ciddi oranda düşürmüştür. Bu durum bu konuda daha önce yapılan çalışmaları desteklemektedir [37]. 7 günlük dayanımlarda, erken dayanıma fayda sağlayan silis dumanının etki oranı daha yüksekken, 28 günlük dayanımlarda, nihai dayanıma fayda sağlayan yüksek fırın cürufunun etki oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

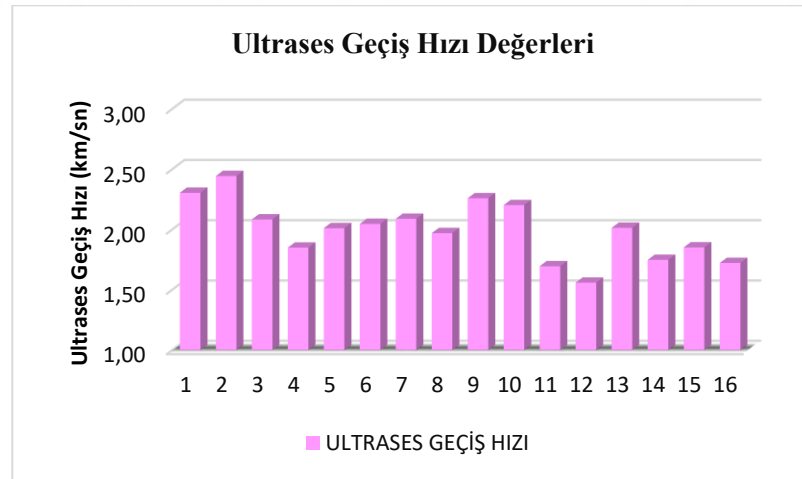
3.2.3. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıvaların ultrases geçiş hızı değerleri ölçülmüş ve harç kaliteleri test edilmiştir. Deney her serinin 7. gün sonunda ultrases geçiş

hızı değerlerinin ölçülmesiyle yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları Tablo 3.15’de, ultrases geçiş hızı değerlerine ait grafik Şekil 3.22’de belirtilmiştir.

Tablo 3.15. Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Seri No	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
N1	0.6	0	0	0	0	2,30
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	2,44
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	2,08
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	1,85
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	2,01
N6	0.7	10	10	0	0,6	2,05
N7	0.6	10	20	0,6	0	2,09
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	1,97
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	2,26
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	2,20
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,69
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,56
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	2,01
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,75
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	1,85
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,72



Şekil 3.22. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

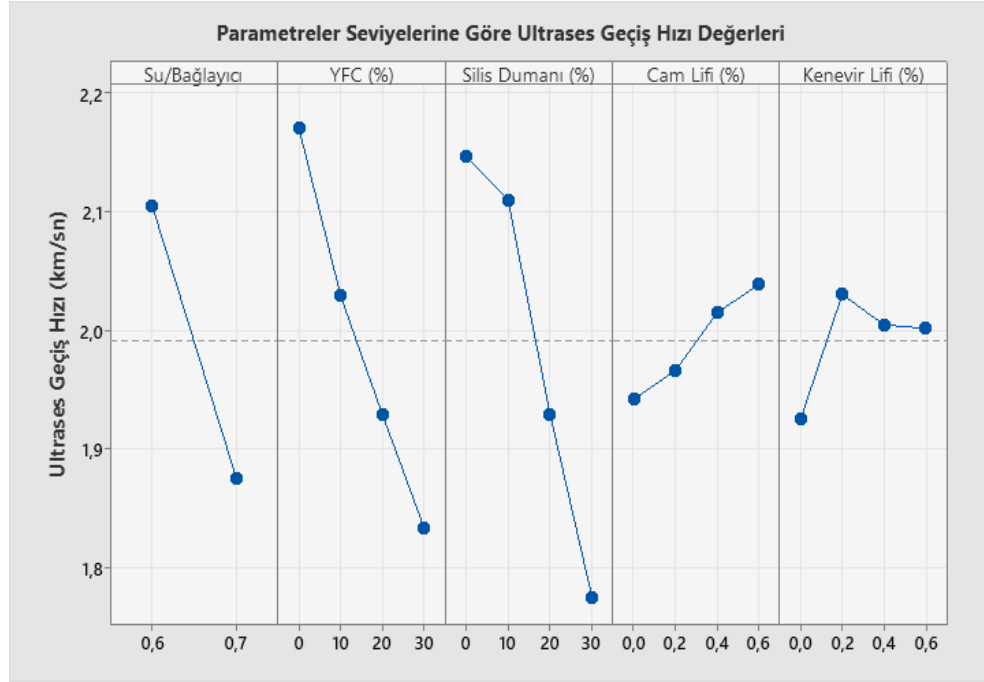
Alçı sıva numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri Taguchi analiz metodu değerlendirilmiştir. Geçiş hızı arttıkça sıva harcının kalitesi arttığından S/N oranı hesaplanırken “en büyük-en iyi” durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.9 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Alçı sıva numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri ve S/N oranları Tablo 3.16’da gösterilmektedir. Analiz sonuçları Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de gösterilmektedir.

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

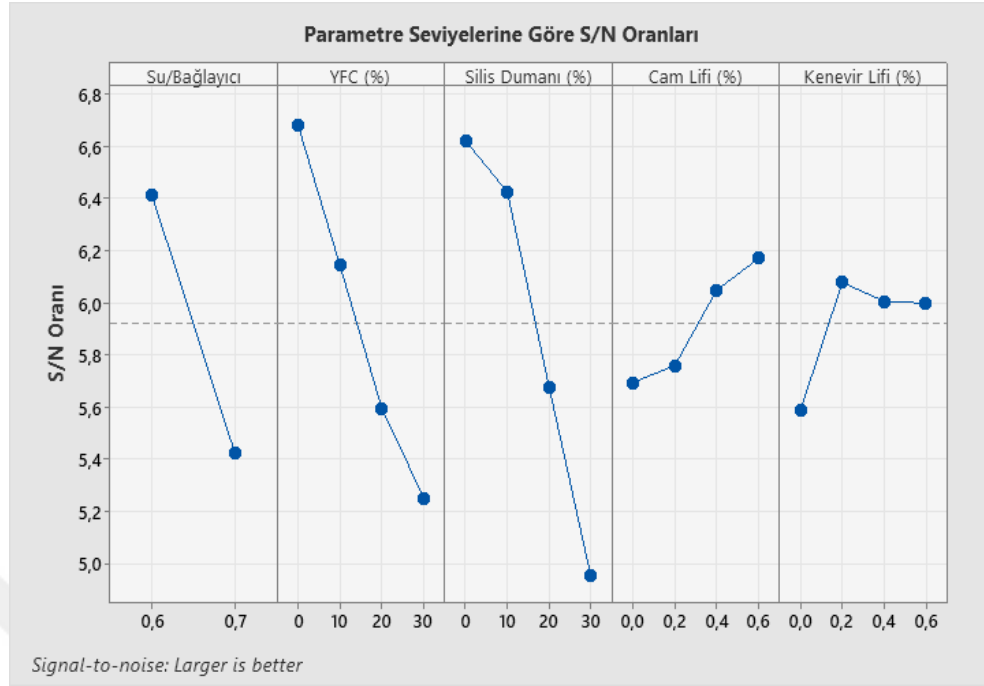
(Denklem 3.9.)

Tablo 3.16. Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri ve S/N Oranları

Seri No	Deney Parametreleri					Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	S/N Oranı
	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)		
N1	0.6	0	0	0	0	2,30	7,25
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	2,44	7,76
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	2,08	6,38
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	1,85	5,34
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	2,01	6,07
N6	0.7	10	10	0	0,6	2,05	6,22
N7	0.6	10	20	0,6	0	2,09	6,40
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	1,97	5,89
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	2,26	7,08
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	2,20	6,86
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,69	4,58
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,56	3,86
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	2,01	6,08
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,75	4,85
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	1,85	5,35
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,72	4,72



Şekil 3.23. Parametre Seviyelerine Göre Alçı Sıva Numunelerinin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri



Şekil 3.24. Parametre Seviyelerine Göre Ultrases Geçiş Hızına Ait S/N Oranları

Parametre seviyelerine göre ultrases geçiş hızına ait S/N oranları ve parametre seviyelerine ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde; ultrases geçiş hızının su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,2 oranında kullanıldığı parametre seviyelerinde optimum olduğu görülmektedir. Optimum değerlere en yakın deney kombinasyonunun su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun % 0, silis dumanının %10, kenevir lifinin %0,2 ve cam lifinin %0,2 oranlarında kullanıldığı N2 serisidir.

Ultrases geçiş hızı değerleri üzerinde varyans analizi yapılmış ve parametrelerin etki oranları incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.17’de belirtilmiştir.

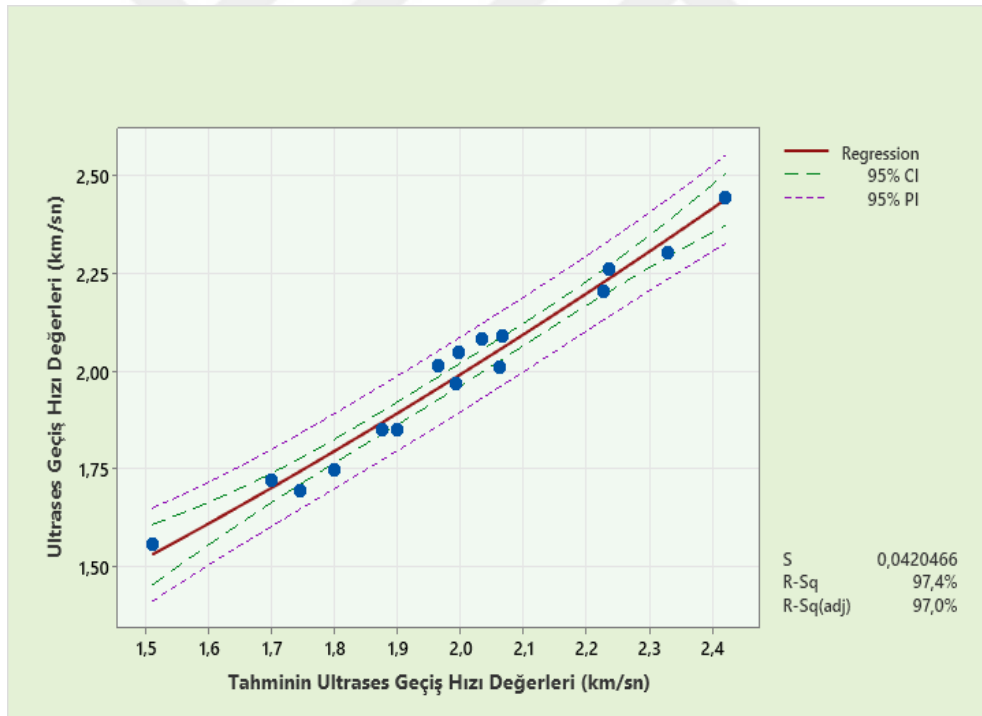
Tablo 3.17. Ultrases Geçiş Hızı Değerlerine Ait Varyans Analizi Sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	0,2	0,21	17,37	0,053	23,76%
YFC (%)	3	0,2	0,08	6,83	0,130	28,01%
Silis Dumanı (%)	3	0,4	0,12	9,77	0,094	40,07%
Cam Lifi (%)	3	0,0	0,01	0,64	0,656	2,64%
Kenevir Lifi (%)	3	0,0	0,01	0,68	0,641	2,79%
Hata	2	0,0	0,01			2,73%
Toplam	15	0,9				100,00%

Ultrases geçiş hızı değerlerine ait varyans analizi incelendiğinde (Tablo 3.17), bütün parametrelere ait P değerlerinin 0,05'in üzerinde olduğu görülmektedir. F değerlerine göre etki derecelerini sıraladığımızda en etkili parametre su/bağlayıcı oranı iken onu silis dumanı ve yüksek fırın cürufu parametresi takip etmektedir.

Parametrelerin ultrases geçiş hızı üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %40,07 ile silis dumanı olduğunu, yüksek fırın cürufunun %28,01, su/bağlayıcı oranının %23,76 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin etki yüzdesi %2,64 iken kenevir lifinin etki yüzdesi %2,69'dur. Kullanılan liflerin ultrases geçiş hızı üzerinde etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hata yüzdesi kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününün etki değerini göstermektedir ve bu oran 7 günlük basınç dayanımı için %2,73'dr.

Taguchi ve varyans analizlerinden sonra minitab programı ile regression denklemi oluşturulmuş ve ultrases geçiş hızı değerleri için tahmini Taguchi sonuçları hesaplanmıştır. Elde edilen tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlara ait ilişkiyi gösteren grafik şekil 3.25'de gösterilmektedir.



şekil 3.25. Tahmini ve Gerçek Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

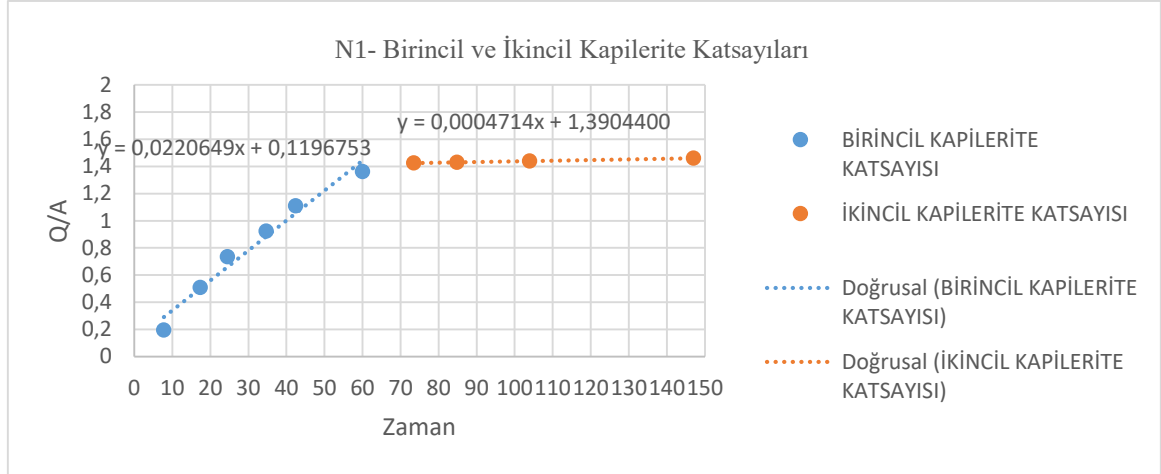
şekil 3.25 incelendiğinde; Ultrases geçiş hızına ait gerçek değerlerin regression çizgisine yakın ve güven aralığı içerisinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda R-Sq değerinin %85'in üzerinde olması istenmektedir. Oluşturulan modelde R-Sq değerinin %97,40 olduğu ve oluşturulan modelin güvenilir olduğu söylenilebilir.

3.2.4. Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları

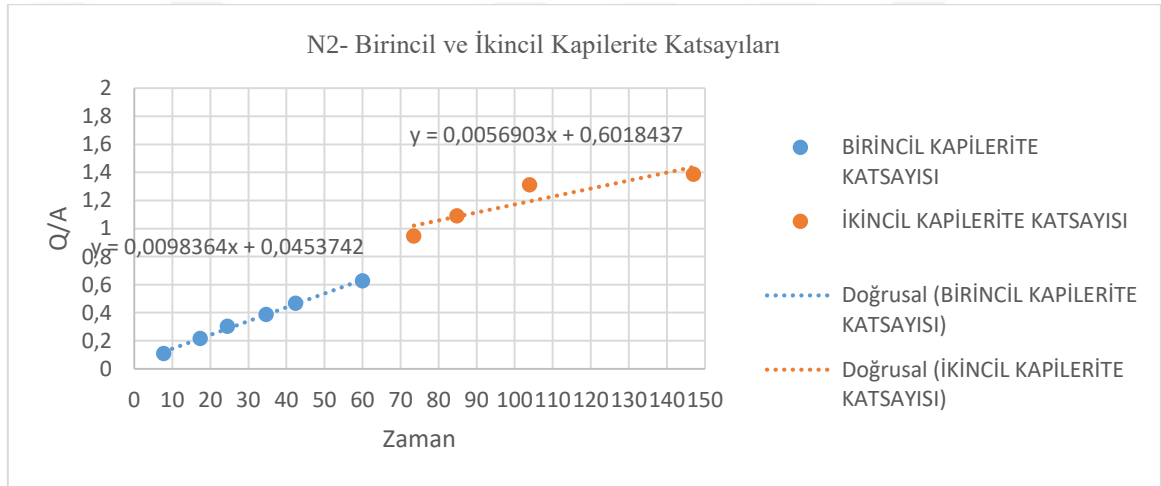
5x5x5 cm boyutlarında üretilen küp numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Her seri için 3 adet numune üretilmiş ve numunelerin ortalamaları alınarak sonuçlar belirlenmiştir. Numuneler su ile temas etmeye başladıktan sonra 1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 ve 360 dakikalık süre sonunda tartımlar yapılmış ve kapilerite katsayıları hesaplanmıştır. Katsayı belirlenirken zamana karşılık gelen birim alana alınan su miktarı değerleri arasındaki lineer ilişkinin eğiminden faydalanılmıştır. 0-60 dakikalar arasındaki değişim ile birincil kapilerite katsayısı hesaplanırken 90-360 dakikalar arasındaki değişim baz alınarak ikincil kapilerite katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen birincil ve ikincil kapilerite katsayı değerleri Tablo 3.18’de gösterilmiştir. İlk dört seriye ait grafik Şekil 3.26 - Şekil 3.29’da gösterilmektedir.

Tablo 3.18. Alçı Sıva Numunelerinin Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları

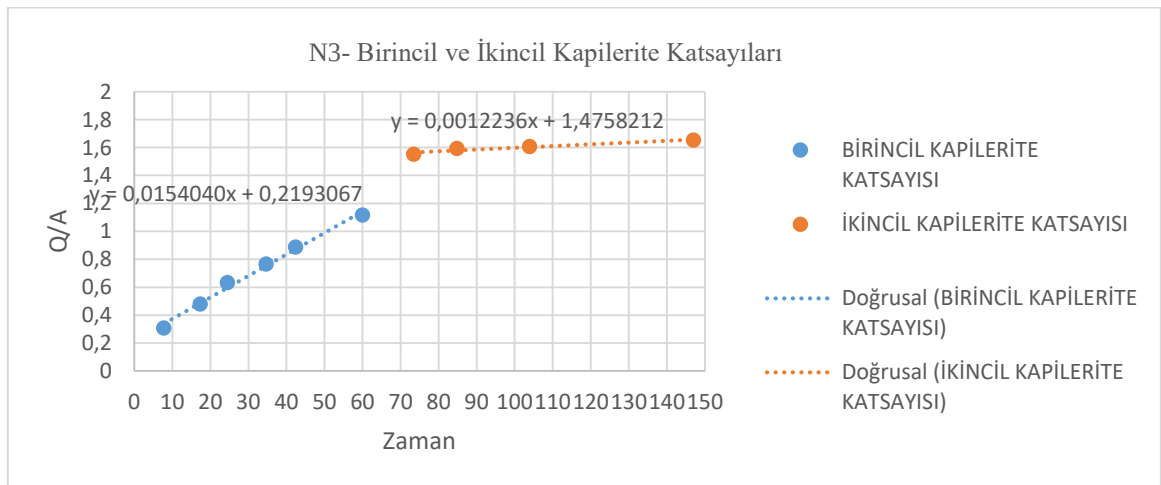
Seri No	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Birincil Kapilerite Katsayısı cm/sn ^{1/2}	İkincil Kapilerite Katsayısı cm/sn ^{1/2}
N1	0.6	0	0	0	0	0,0220649	0,0004714
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	0,0098364	0,0056903
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	0,0154040	0,0012236
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	0,0125519	0,0052832
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	0,0187587	0,0003207
N6	0.7	10	10	0	0,6	0,0253633	0,0002621
N7	0.6	10	20	0,6	0	0,0089386	0,0064501
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	0,0106381	0,0090418
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	0,0232050	0,0003900
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	0,0194590	0,0005147
N11	0.7	20	20	0	0,2	0,0237849	0,0001439
N12	0.7	20	30	0,2	0	0,0156856	0,0015903
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	0,0096438	0,0000978
N14	0.7	30	10	0,4	0	0,0194336	0,0003784
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	0,0178285	0,0005303
N16	0.6	30	30	0	0,4	0,0177165	0,0012725



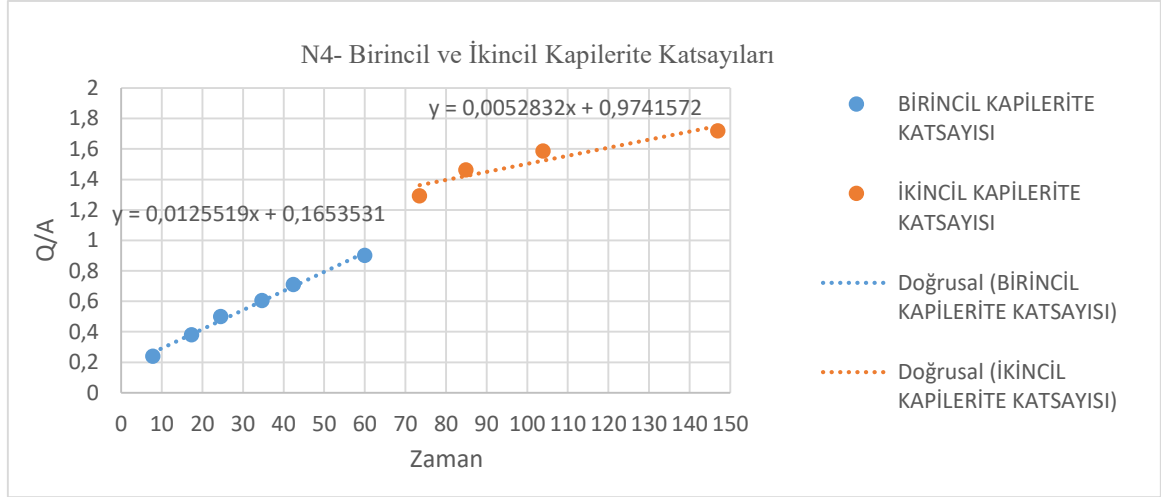
Şekil 3.26. N1 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları



Şekil 3.27. N2 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları



Şekil 3.28. N3 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları



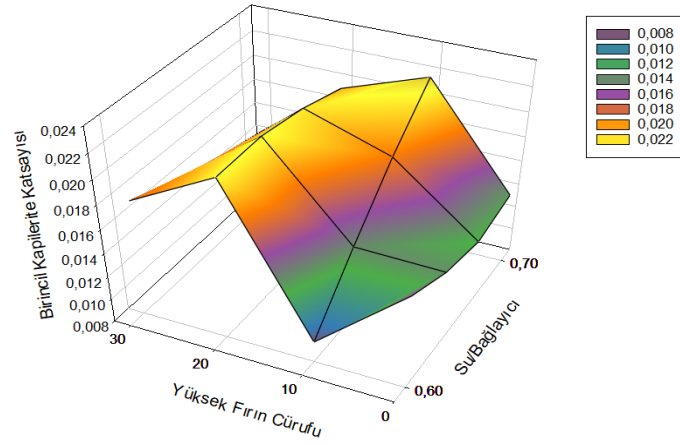
Şekil 3.29. N4 Serisine Ait Birincil ve İkincil Kapilerite Katsayıları

Elde edilen birincil ve ikincil kapilerite katsayıları üzerinde Taguchi metoduyla analiz yapılmıştır. Alçı sıva numunelerinin daha az boşluklu olması ve kapiler su emme katsayılarının küçük olması istendiğinden en küçük - en iyi durumu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

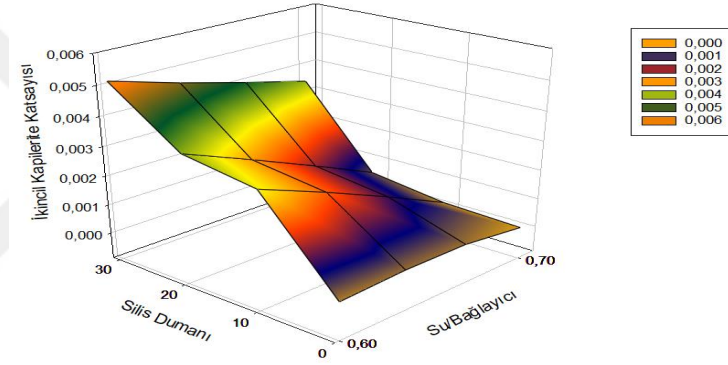
Birincil kapiler su emme katsayıları üzerinde yapılan analiz sonucunda; su/bağlayıcı oranının 0.6 olduğu, yüksek fırın cürufunun %0, silis dumanının %30, cam lifinin %0,6, kenevir lifi %0,2 oranında kullanıldığı durumun optimum parametre seviyelerini verdiği belirlenmiştir. Birincil kapilerite katsayısı için hesaplanan optimum değerlere en yakın serinin, su/bağlayıcı oranı 0.6 olan ve yüksek fırın cürufunun %10, silis dumanının %20, cam lifinin %0, kenevir lifinin %0 oranında kullanıldığı N7 serisi olduğu görülmektedir.

İkincil kapiler su emme katsayıları üzerinde yapılan analiz sonucuna göre, su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu, yüksek fırın cürufunun %30, silis dumanının %0, cam lifinin %0 ve kenevir lifinin %0,4 oranlarında kullanıldığı durumun optimum parametre seviyelerini verdiği belirlenmiştir. İkincil kapilerite katsayıları için yapılan hesaplamada optimum değerlere en yakın serinin su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu ve yüksek fırın cürufunun %30, silis dumanının %0, cam lifinin %0,6 ve kenevir lifinin %0,4 oranında kullanıldığı N13 serisi olduğu görülmektedir.

Parametre seviyelerinin kapiler su emme katsayısı üzerindeki etkisinin daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de verilen üç boyutlu grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 3.30. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birincil Kapiler Su Emme Katsayısına Etkisi



Şekil 3.31. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin İkincil Kapiler Su Emme Katsayısına Etkisi

Taguchi analizinden sonra varyans analizi yapılmış ve parametrelerin birincil ve ikincil kapiler su emme katsayısı üzerindeki etki yüzdeleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.19 ve Tablo 3.20’de gösterilmektedir.

Tablo 3.19. Birincil Kapilerite Katsayısına Ait Varyans Analizi Değerleri

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	0,0	0,00	3,00	0,9608282	21,01%
YFC (%)	3	0,0	0,01	4,67	0,1814933	53,67%
Silis Dumanı (%)	3	0,0	0,00	1,00	0,5346473	11,52%
Cam Lifi (%)	3	0,0	0,00	0,49	0,7225203	5,68%
Kenevir Lifi (%)	3	0,0	0,00	1,87	0,3675691	1,46%
Hata	2	0,0	0,00			7,67%
Toplam	15	0,1				100,00%

Birincil kapilerite katsayısı değerlerine ait varyans analizi incelendiğinde (Tablo 3.19), bütün parametrelere ait P değerlerinin 0,05'in üzerinde olduğu görülmektedir. F değerlerine göre etki derecelerini sıraladığımızda en etkili parametre yüksek fırın cürufu iken onu su/bağlayıcı oranı ve silis dumanı parametresi takip etmektedir.

Parametrelerin birincil kapilerite katsayısı üzerinde yüzdesel etkiler incelendiğinde, en etkili parametrenin %53,67 ile yüksek fırın cürufu olduğunu, su/bağlayıcı oranının %21,01, silis dumanının %11,52 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin etki yüzdesi %5,68 iken kenevir lifinin etki yüzdesi %1,46'dır. Hata yüzdesi kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününün etki değerini göstermektedir ve bu oran birincil kapilerite katsayısı için %7,67'dir.

Tablo 3.20. İkincil Kapilerite Katsayısına Ait Varyans Analizi Değerleri

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Oranı (%)
Su/Bağlayıcı	1	0,0	0,00	11,79	0,0753729	11,84%
YFC (%)	3	0,0	0,00	10,24	0,0902841	30,85%
Silis Dumanı (%)	3	0,0	0,00	9,03	0,1013316	27,21%
Cam Lifi (%)	3	0,0	0,00	4,27	0,1955388	12,87%
Kenevir Lifi (%)	3	0,0	0,00	5,05	0,1697308	15,22%
Hata	2	0,0	0,00			2,01%
Toplam	15	0,0				100,00%

İkincil kapilerite katsayısı değerlerine ait varyans analizi incelendiğinde (Tablo 3.20), bütün parametrelere ait P değerlerinin 0,05'in üzerinde olduğu görülmektedir. F değerlerine göre etki derecelerini sıraladığımızda en etkili parametre yüksek fırın cürufu iken onu silis dumanı oranı ve su/bağlayıcı oranı parametresi takip etmektedir.

Parametrelerin ikincil kapilerite katsayısı üzerinde yüzdesel etkiler incelendiğinde, en etkili parametrenin %30,85 ile yüksek fırın cürufu olduğunu, silis dumanının %27,21, kenevir lifinin %15,22 cam lifinin %12,87 ve su/bağlayıcı oranının %11,84 oranında etkili olduğu görülmektedir. Hata yüzdesi kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününün etki değerini göstermektedir ve bu oran ikincil kapilerite katsayısı için %2,01'dir.

Parametre seviyelerinin kapiler su emme katsayısı üzerinde etkileri incelendiğinde, silis dumanı katkısının artması 0-60 dakikalık süreçte ki katsayıyı gösteren birincil kapilerite katsayısını düşürmüştür. Silis dumanının ince yapısının kompozit içerisinde kapiler boşluk oranını düşürmesi literatür ile paralellik göstermektedir [37]. Yüksek fırın cürufu katkısı, 0-60 dakikalık zaman diliminde kapilerite katsayısını arttırırken, 90-360 dakikalık zaman diliminde kapilerite katsayısını düşürmüştür. Birincil kapilerite katsayıları incelendiğinde silis dumanının iyileştirici etkisi daha

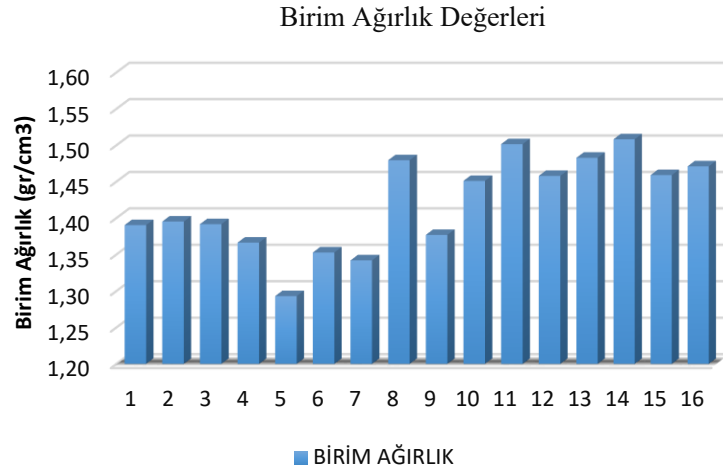
belirginen ikincil kapilerite katsayıları üzerinde yüksek fırın cürufunun iyileştirici etkisi daha belirgin görülmektedir.

3.2.5. Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıvalar üzerinde 7. gün sonunda birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Her seri için 3 adet numune üretilmiş ve numunelerin ortalamaları alınarak sonuçlar belirlenmiştir. Deney 5x5x5 cm boyutlarında küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin etüv kurusu ağırlıkları, 24 saat suda bekletilmiş suya doygun ağırlıkları ve Arşimet terazisi ile su içinde ağırlıkları belirlenmiştir. Birim ağırlık deney sonuçları Tablo 3.21’de, birim ağırlık değerlerine ait grafik Şekil 3.32’de belirtilmiştir.

Tablo 3.21. Alçı Sıva Numunelerinin Birim Ağırlık Deneyleri

Seri No	Su/Bağlayıcı	Yüksek Fırın Cürufu (%)	Silis Dumanı (%)	Cam Lifi (%)	Kenevir Lifi (%)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)
N1	0.6	0	0	0	0	1,390
N2	0.6	0	10	0,2	0,2	1,395
N3	0.7	0	20	0,4	0,4	1,392
N4	0.7	0	30	0,6	0,6	1,366
N5	0.7	10	0	0,2	0,4	1,293
N6	0.7	10	10	0	0,6	1,353
N7	0.6	10	20	0,6	0	1,342
N8	0.6	10	30	0,4	0,2	1,479
N9	0.6	20	0	0,4	0,6	1,377
N10	0.6	20	10	0,6	0,4	1,451
N11	0.7	20	20	0	0,2	1,501
N12	0.7	20	30	0,2	0	1,458
N13	0.7	30	0	0,6	0,2	1,483
N14	0.7	30	10	0,4	0	1,508
N15	0.6	30	20	0,2	0,6	1,459
N16	0.6	30	30	0	0,4	1,471

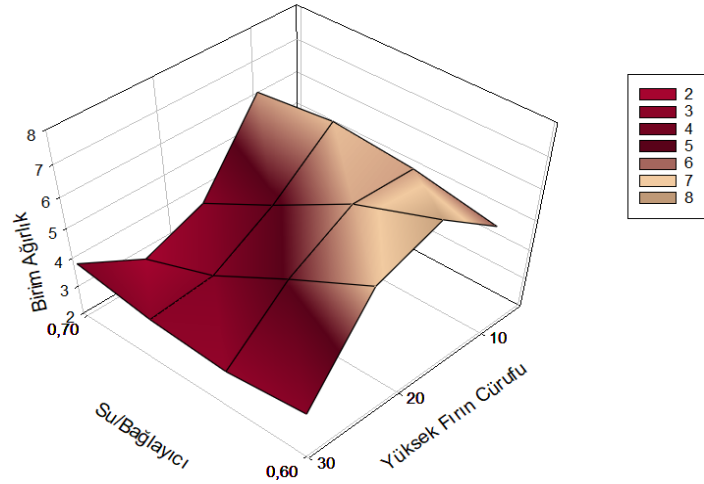


Şekil 3.32. Alçı Sıva Numunelerinin Birim Ağırlık Değerleri

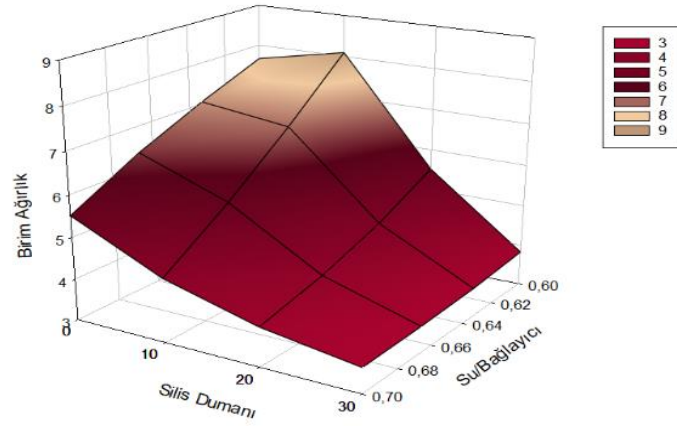
Birim ağırlık değerleri üzerinde Taguchi metoduyla analiz yapılmıştır. Alçı sıva numunelerinin daha az boşluklu olması ve hafif olması istendiğinden en küçük - en iyi durumu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Birim ağırlık değerleri üzerinde yapılan analiz sonucunda; su/bağlayıcı oranının 0.7 olduğu, yüksek fırın cürufunun %30, silis dumanının %30, cam lifinin %0,2, kenevir lifi %0,6 oranında kullanıldığı durumun optimum parametre seviyelerini verdiği belirlenmiştir.

Parametre seviyelerinin birim ağırlık üzerindeki etkisinin daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’de verilen üç boyutlu grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 3.33. Yüksek Fırın Cürufu ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birim Ağırlık Değerlerine Etkisi



Şekil 3.34. Silis Dumanı ve Su/Bağlayıcı Parametrelerinin Birim Ağırlık Değerlerine Etkisi

Parametrelerin birim ağırlık değerleri üzerinde etkisinin gösterildiği Şekil 3.33 incelendiğinde yüksek fırın cürufu ve su/bağlayıcı oranının artmasının birim ağırlık değerini düşürdüğü görülmektedir. Şekil 3.34'e göre silis dumanı ve su/bağlayıcı oranının artmasının aynı şekilde birim ağırlık değerlerini azalttığı görülmektedir.

Taguchi analizinin ardından birim ağırlık değerleri üzerinde varyans analizi yapılarak parametrelerin etki değerleri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 3.22'de gösterilmektedir.

Tablo 3.22. Birim Ağırlık Değerlerine Ait Varyans Analizi Sonuçları

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri	Etki Yüzdesi (%)
Su/Bağlayıcı	1	17,3	17,3	70,01	0,014	24,98%
YFC (%)	3	23,6	7,9	31,72	0,031	33,95%
Silis Dumanı (%)	3	26,7	8,9	35,91	0,027	38,43%
Cam Lifi (%)	3	1,2	0,4	1,6	0,417	1,71%
Kenevir Lifi (%)	3	0,1	0,0	0,2	0,888	0,22%
Hata	2	0,5	0,2			0,71%
Toplam	15	69,4				100,00%

Varyans analizi yapılırken değerlendirilen herhangi bir parametrenin P değerinin 0,05'den küçük olması, bu parametrenin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğunu göstermektedir. Birim ağırlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde (Tablo 3.22), su/bağlayıcı oranı, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı parametrelerinin P değerlerinin 0,05'in altında olduğu ve bu parametrelerin deney kalitesi üzerinde anlamlı olduğu söylenilebilir. 0,014 P değeri ile su/bağlayıcı oranı, 0,027 P değeri ile silis dumanı ve 0,031 P değeri ile yüksek fırın cürufu istatistiksel açıdan deney kalitesi üzerinde parametrelerdir. F değerlerine göre sıralama yapılırsa aynı şekilde en etkili parametre su/bağlayıcı iken onu silis dumanı ve yüksek fırın cürufu takip etmektedir.

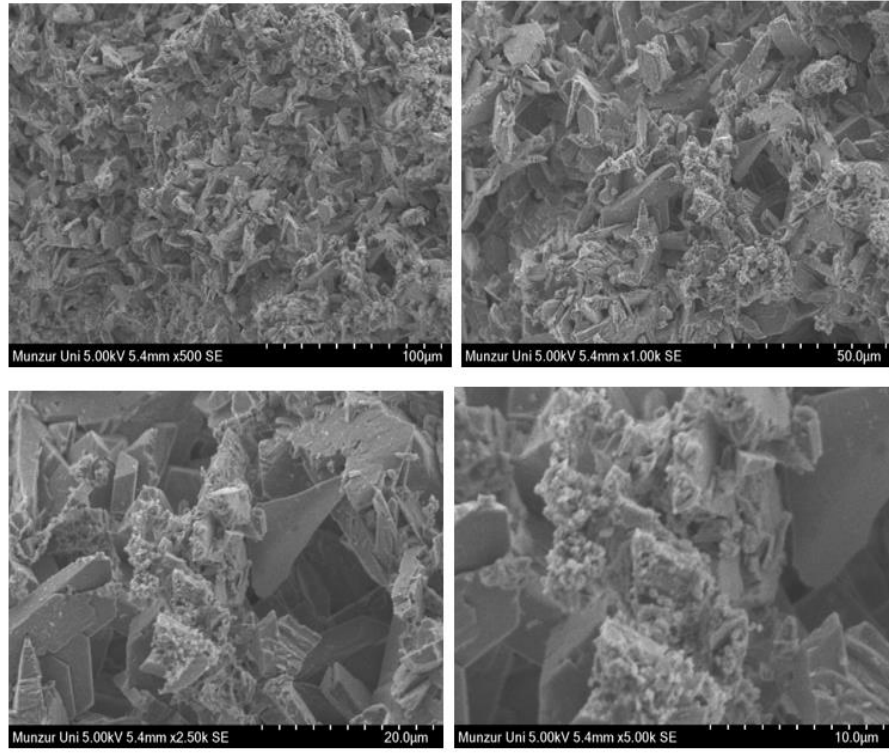
Parametrelerin birim ağırlık değerleri üzerinde yüzdesel etkileri incelendiğinde, en etkili parametrenin %38,43 ile silis dumanı olduğu, yüksek fırın cürufunun %33,95, su/bağlayıcı oranının %24,98 oranında etkili olduğu görülmektedir. Cam lifinin etki yüzdesi %1,71 iken kenevir lifinin etki yüzdesi %0,22'dir. Kullanılan elyafların birim ağırlık değerleri üzerinde etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hata satırı kontrol edilemeyen farklı etkenlerin bütününe etki değerini göstermektedir ve bu oran birim ağırlık için %0,71'dir.

Birim ağırlık deney sonuçlarına göre, elyaf katkısının birim ağırlık değerleri üzerinde çok fazla etkisi görülmez iken puzolan katkısının birim ağırlık değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Silis dumanı ve yüksek fırın cürufu oranı arttıkça alçı sıva numunelerin birim ağırlık değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

3.2.6. SEM-EDS Analizi Sonuçları

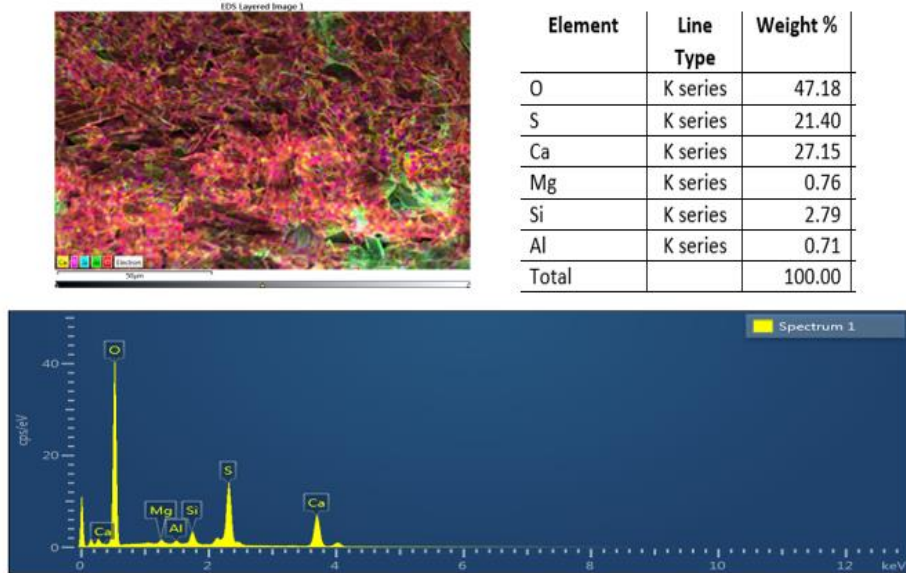
Tarayıcı elektron mikroskopu ile alçı sıva numunelerinden alınan SEM görüntüleri ile numunelerin mikroyapı analizleri yapılmıştır. SEM – EDS analizi için; Basınç dayanım ve eğilme dayanım sonuçlarına göre en yüksek dayanımı veren ve YFC katkısı olmayan N2 serisi, aynı şekilde yüksek dayanıma sahip fakat silis dumanı katkısı olmayan N9 serisi, en düşük dayanımı veren ve kenevir lifi katkısı olmayan N12 seri, düşük dayanım değerlerine sahip ve cam lifi katkısı olmayan N11 serisi ve katkısız olan N1 serisi olmak üzere 5 farklı numune belirlenmiştir. Bu 5 farklı serinin analizleri Munzur Üniversitesi Nadir Toprak Elementleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır.

Su / bağlayıcı oranı 0.6 olan, katkısız, sadece ham alçı ve pomza içeren N1 serisine ait SEM görüntülere Şekil 3.35'de, EDS analiz sonuçları Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.35. N1 Serisine Ait SEM Görüntüleri

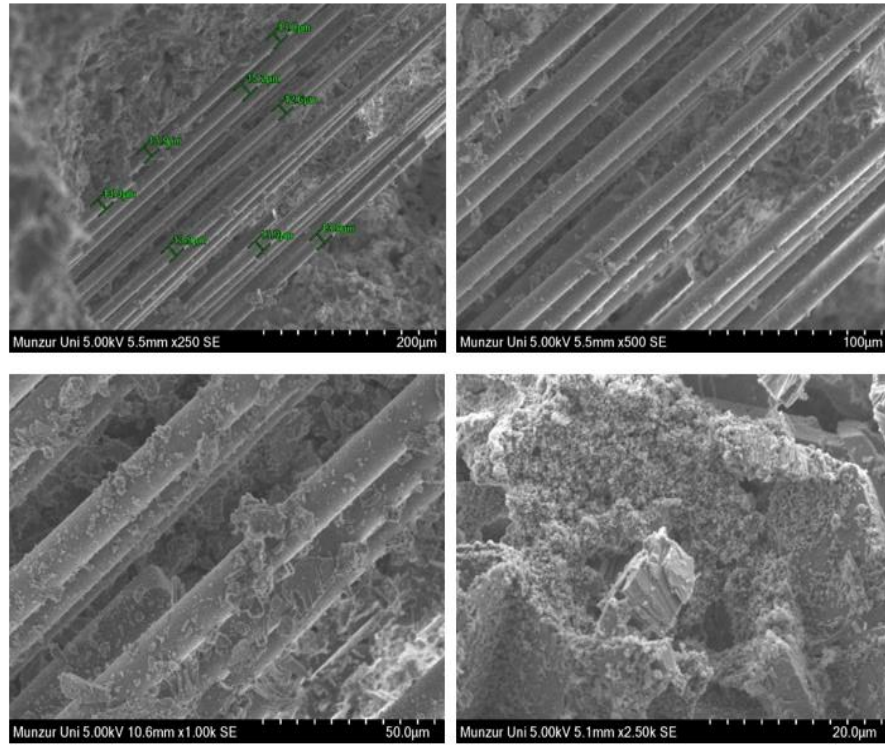
Şekil 3.35 incelendiğinde alçının hidratasyon sonucu gözenekli yapıda olduğu, içerisinde karmaşık rasgele yönelmiş küçük kristallerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir [12].



Şekil 3.36. N1 Serisine Ait EDS Analizi

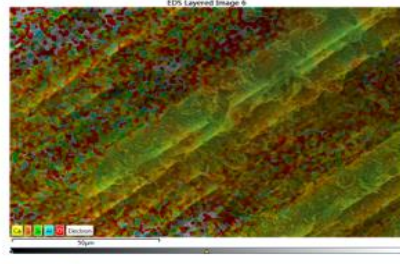
Numuneden alınan noktasal bölge incelendiğinde; O, S, Ca, Mg, Si, Al elementlerinin ağırlıkça oranları görülmektedir (Şekil 3.36.). Pomza içeriğinden dolayı Si, Al, Mg elementleri yaygındır ve S elementinin varlığı kullanılan pomzanın bazik özellik gösterdiğini belirtmektedir. Katkısız numunedeki alçı içeriğinden dolayı en yaygın elementler Ca, S ve O olduğu görülmektedir.

Yüksek fırın cürufu katkısı olmayan, %0,2 cam lifi, %0,2 kenevir lifi, %10 silis dumanı içeren ve en yüksek dayanıma sahip olan N2 serisine ait SEM görüntüleri Şekil 3.37’de, EDS analiz sonuçları Şekil 3.38’de gösterilmektedir.

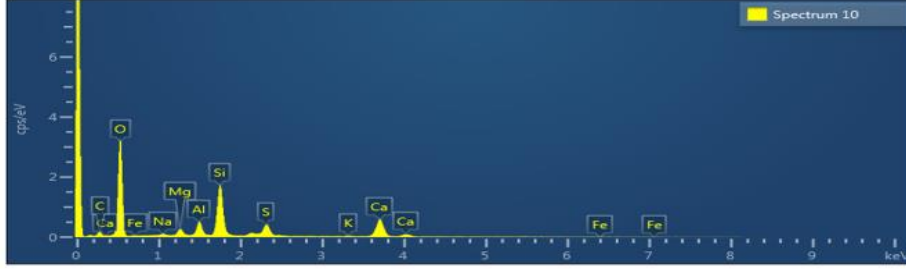


Şekil 3.37. N2 Serisine Ait SEM Görüntüleri

Şekil 3.37’e göre silis dumanının alçıdan farklı olarak kristal iğnemsî yapılar yerine daha homojen ve hamur fazda olduğu görülmektedir. Lifler hamur fazı içerisinde homojen dağılmamıştır. Hamur fazı içerisinde farklı boyutlarda boşluklar olduğu gözlemlenmektedir.



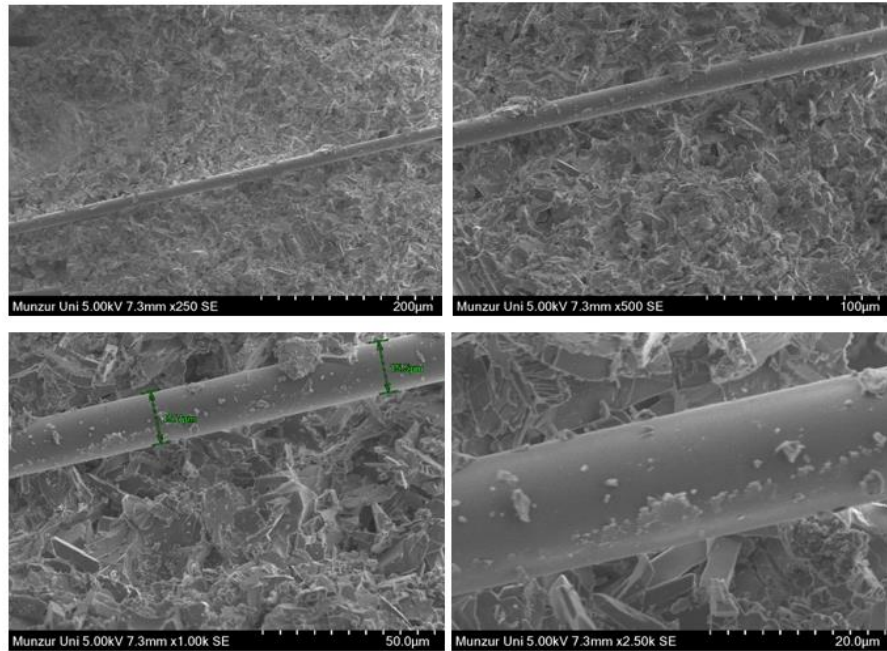
Element	Line Type	Weight %
O	K series	49.06
Al	K series	3.74
Si	K series	15.68
Ca	K series	19.06
Mg	K series	1.66
S	K series	5.16
C	K series	4.14



Şekil 3.38. N2 Serisine Ait EDS Analizi

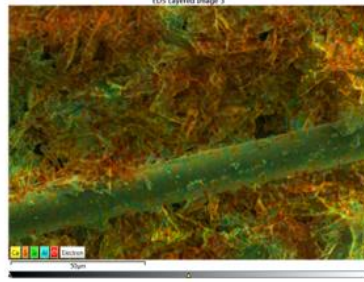
Numuneden alınan noktasal bölge incelendiğinde; O, S, Ca, Mg, Si, Al, S ve C elementlerinin ağırlıkça oranları görülmektedir (Şekil 3.38.). Silis dumanı birleşiminde %74,94 oranında SiO_2 barındırdığından kompozit içerisinde %15 oranın Si elementi bulunmaktadır. Alçıtaşının kimyasal birleşimi CaSO_4 olduğundan, O kompozitteki en yaygın elementken Ca, Si, S elementleri onu takip etmektedir.

Silis dumanı katkısı olmayan, %0,4 cam lifi, %0,6 kenevir lifi, %20 yüksek fırın cürufu içeren N9 serisine ait SEM görüntüleri Şekil 3.39’da, EDS analiz sonuçları Şekil 3.40’da gösterilmektedir.

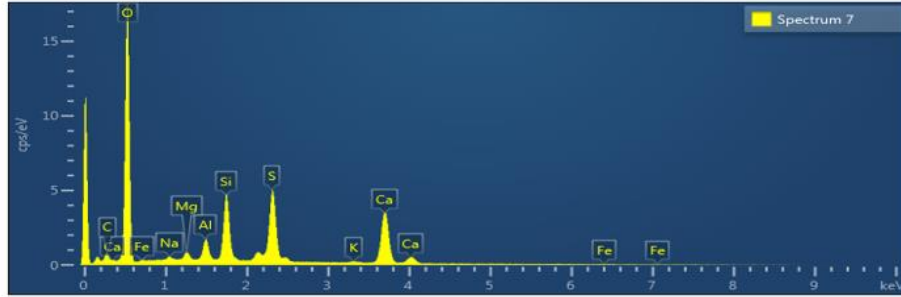


Şekil 3.39. N9 Serisine Ait SEM Görüntüleri

N9 serisine ait SEM görüntüleri incelendiğinde; yüksek fırın cürufunun alçıya benzer olarak kristalize yapıda olduğu görülmektedir. N2 serisi ile karşılaştırıldığında silis dumanının daha hamur fazda olduğu ve kapiler boşlukları doldurduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kapilerite deney sonuçlarını destekler niteliktedir. Aynı şekilde silis dumanı katkılı numunelerin basınç dayanım değerlerinin yüksek fırın cürufu katkılı numunelere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



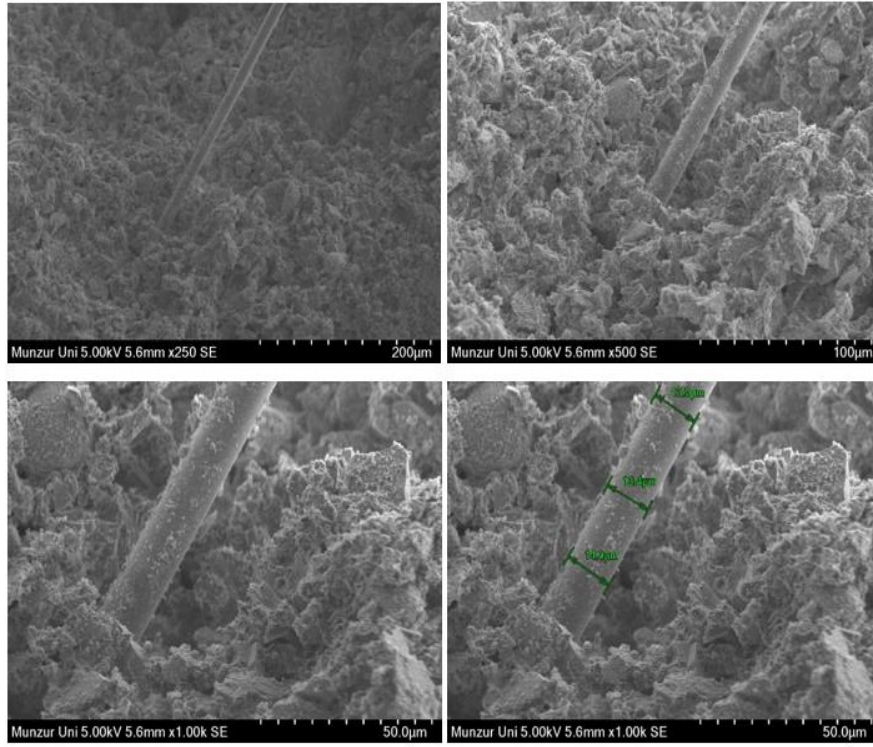
Element	Line Type	Weight %
O	K series	48.97
Si	K series	7.70
S	K series	12.52
Ca	K series	22.31
Al	K series	2.20
Mg	K series	0.77
C	K series	3.58



Şekil 3.40. N9 Serisine Ait EDS Analizi

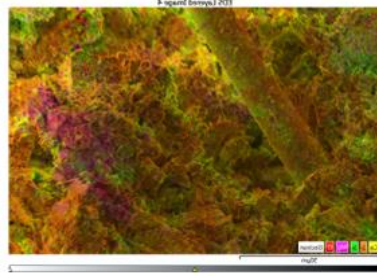
Numuneden alınan noktasal bölge incelendiğinde; O, Si, S, Ca, Al, Mg, C elementlerinin ağırlıkça oranları görülmektedir (Şekil 3.40.). Yüksek fırın cürufu birleşiminde %41 SiO₂, %34,17 CaO bulundurduğundan, O kompozitteki en yaygın elementken Ca, S, Si elementleri onu takip etmektedir.

Cam lifi katkısı olmayan, %0,2 kenevir lifi, %20 yüksek fırın cürufu , %20 silis dumanı içeren N11 serisine ait SEM görüntüleri Şekil 3.41’de, EDS analiz sonuçları Şekil 3.42’de gösterilmektedir.

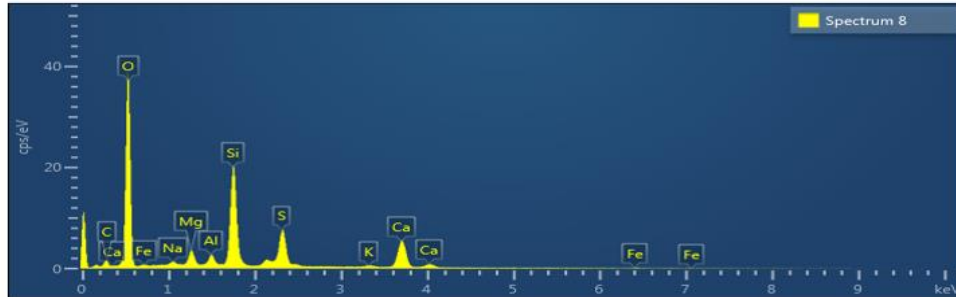


Şekil 3.41. N11 Serisine Ait SEM Görüntüleri

N11 serisine ait SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 3.41); kenevir liflerinin hamur fazı içerisinde homojen ve bağlayıcı malzemeler ile reaksiyona girdiği gözlemlenmektedir.



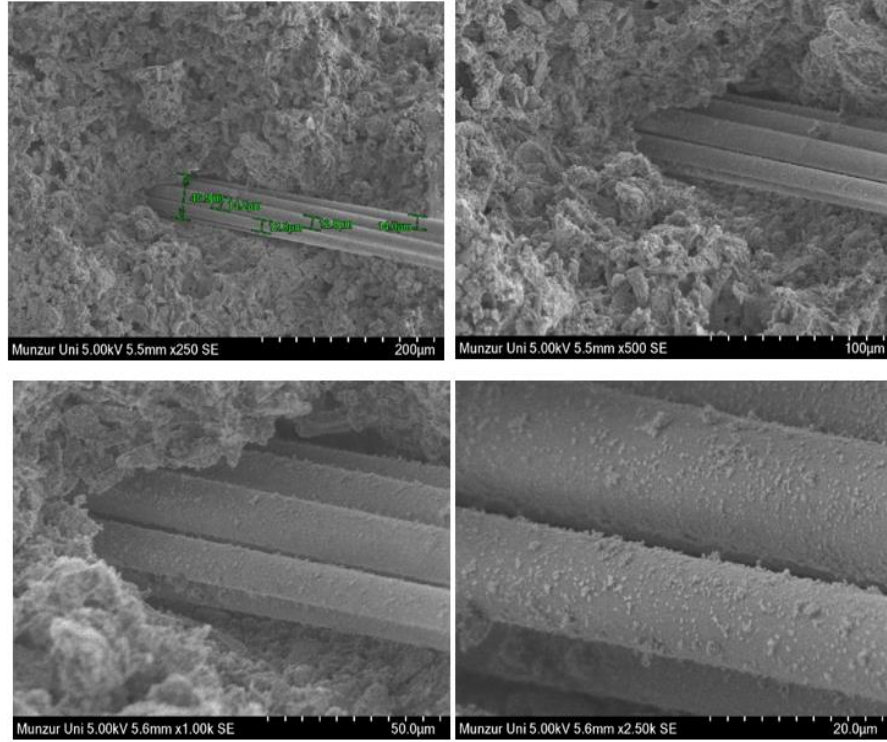
Element	Line Type	Weight %
O	K series	51.17
Mg	K series	1.96
Al	K series	1.38
Si	K series	15.54
S	K series	8.47
Ca	K series	15.56
K	K series	0.66
C	K series	3.06



Şekil 3.42. N11 Serisine Ait EDS Analizi

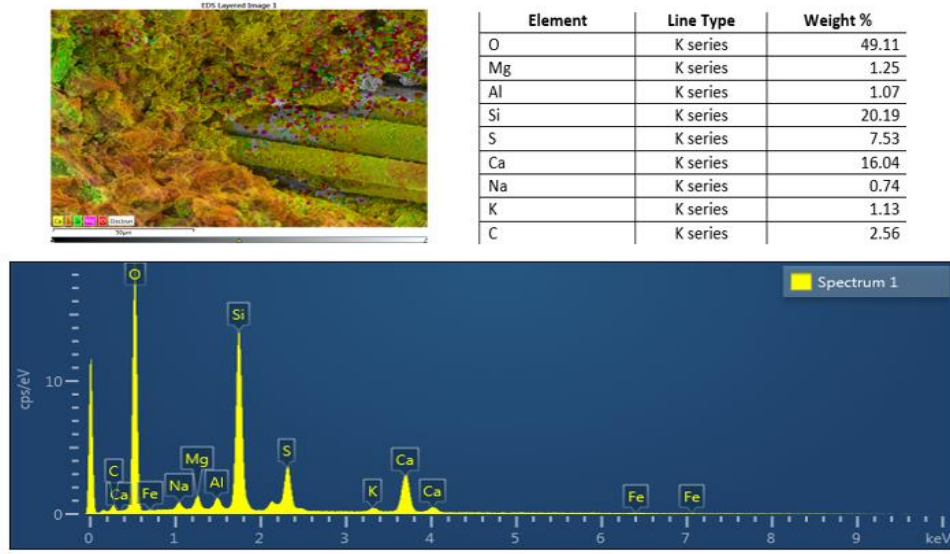
Numuneden alınan noktasal bölge incelendiğinde; O, Mg, Al, Si, S, Ca, K, C elementlerinin ağırlıkça oranları görülmektedir (Şekil 3.42.). O kompozitteki en yaygın elementken Ca, Si, S elementleri onu takip etmektedir.

Kenevir lifi katkısı olmayan, %0,2 cam lifi, %20 yüksek fırın cürufu , %30 silis dumanı içeren N12 serisine ait SEM görüntüleri Şekil 3.43’de, EDS analiz sonuçları Şekil 3.44’de gösterilmektedir.



Şekil 3.43. N12 Serisine Ait SEM Görüntüleri

N12 serisine ait SEM görüntüleri incelendiğinde; cam lifi ve hamur fazı arasından aderansın sağlanamadığı ve cam liflerinin kümelenip homojen dağılmadığı görülmektedir. Hamur fazı içerisinde boşluklar gözlemlenmiştir. Aderansın sağlanamaması ve hamur fazı içerisindeki boşlukların dayanımda düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir. N11 serisi ile karşılaştırıldığında kenevir lifinin daha iyi aderans sağladığı görülmektedir. Eğilme dayanımı deney sonuçları bu durumu destekler niteliktedir.

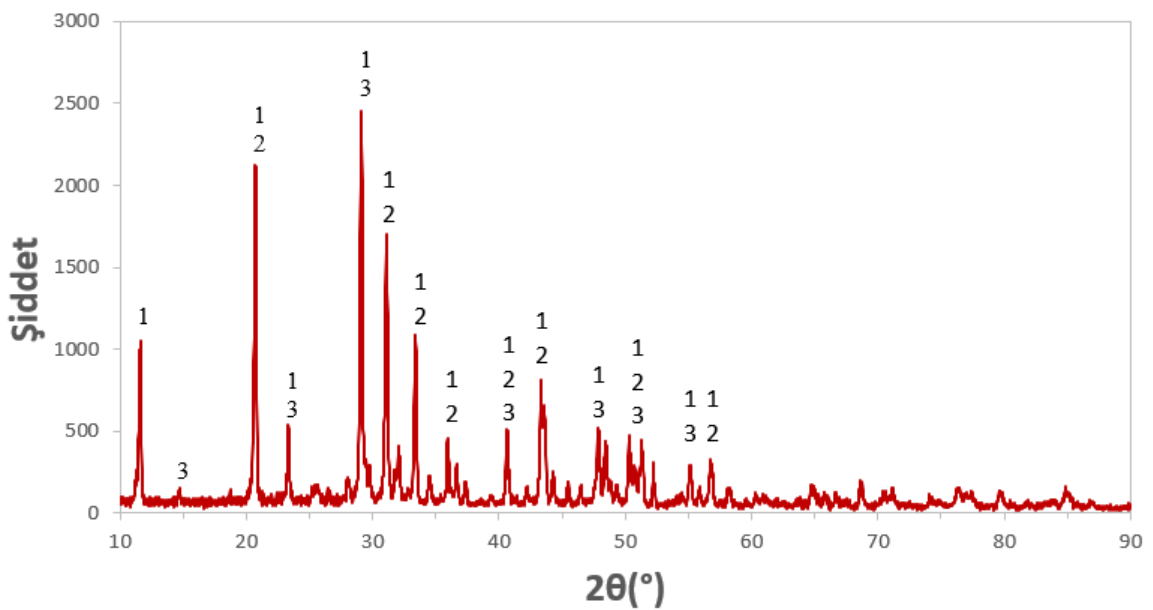


Şekil 3.44. N12 Serisine Ait EDS Analizi

Numuneden alınan noktasal bölge incelendiğinde; O, Mg, Al, Si, S, Ca, Na K, C elementlerinin ağırlıkça oranları görülmektedir (Şekil 3.44.). O kompozitteki en yaygın elementken Si, Ca, S elementleri onu takip etmektedir.

3.2.7. XRD Analiz Sonuçları

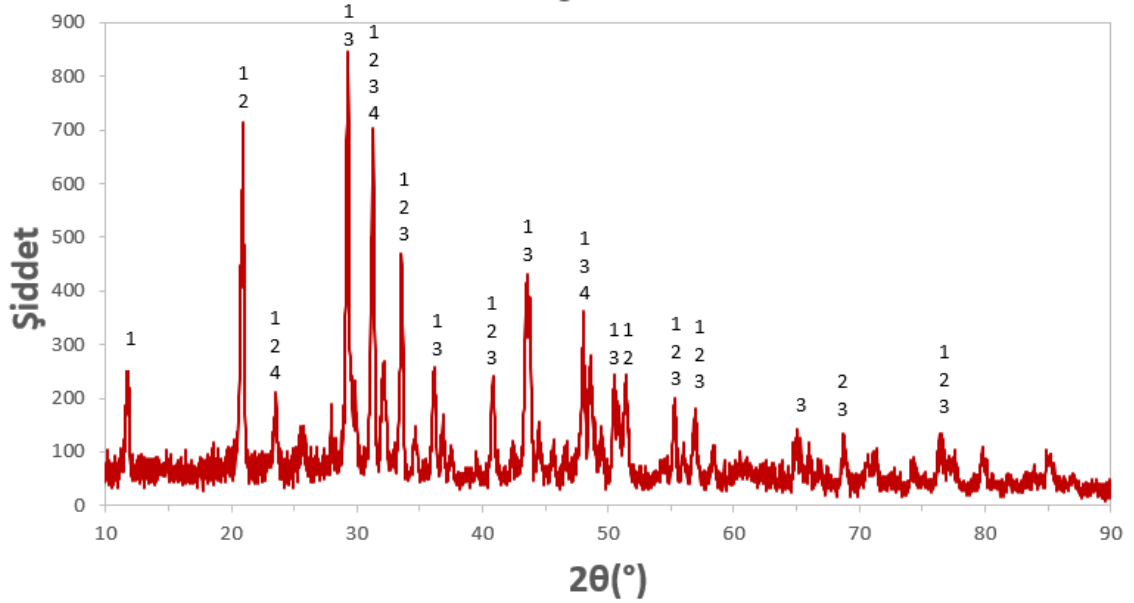
Belirlenen beş adet numunenin (N1, N2, N9, N11, N12) yapılarındaki amorf ve kristal fazları tanımlamak ve mineralojik özelliklerini incelemek için gerçekleştirilen XRD analiz sonuçları Şekil 3.45 – Şekil 3.49’da gösterilmektedir.



Şekil 3.45. N1 Serisine Ait XRD Difraktogramı

(1: Gypsum (CaSO_4), 2:Kyanite (Al_2SiO_5), 3:Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$))

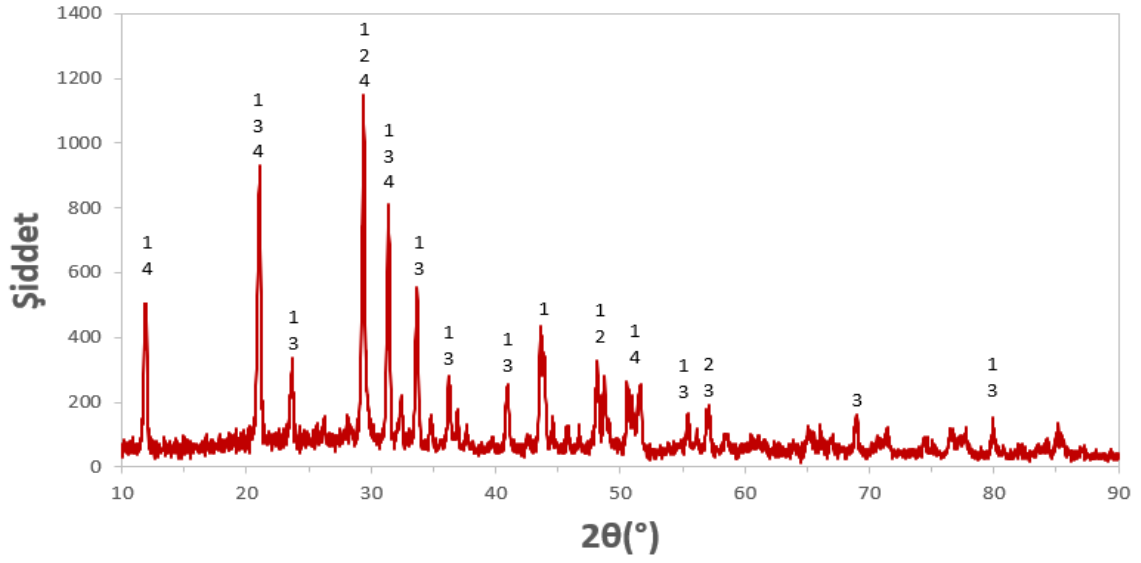
Alçı ve pomza içeren N1 numunesine ait XRD difraktogramı incelendiğinde, alçının kimyasal birleşimi olan CaSO_4 fazı tespit edilmiştir. Ayrıca pomzanın kimyasal yapısında yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O bulunduğuundan Kyanite ve Albite olarak adlandırılan mineraller de XRD analizinde görülmüştür.



Şekil 3.46. N2 Serisine Ait XRD Difraktogramı

(1: Gypsum (CaSO_4), 2:Kyanite (Al_2SiO_5), 3:Enstatite ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), 4: Calcite (CaCO_3))

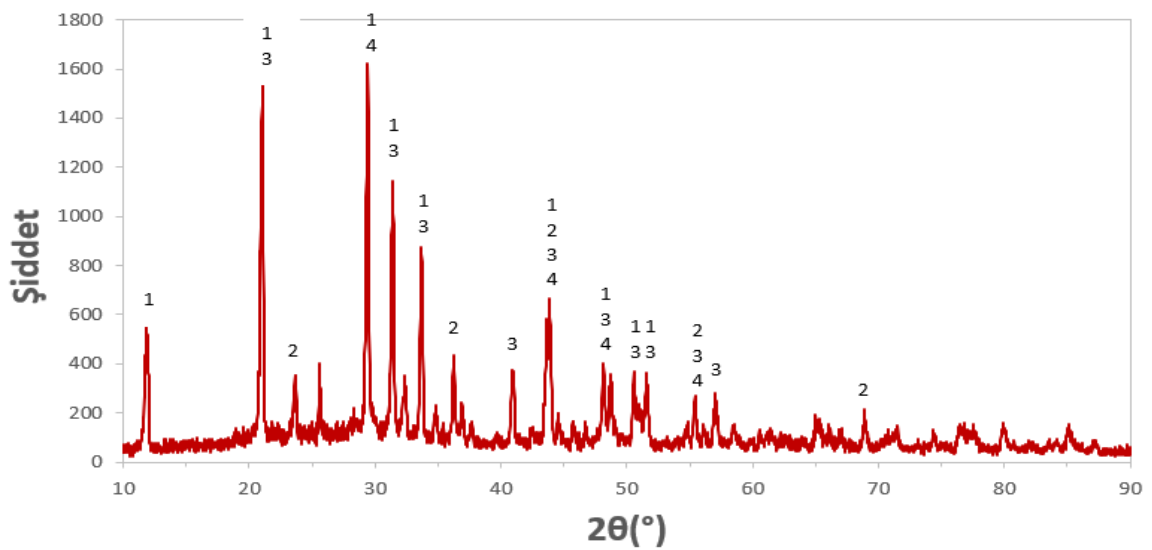
N2 serisine ait XRD difraktogramı incelendiğinde; kompozitteki alçı içeriğinden dolayı CaSO_4 fazı görülmektedir. Çalışmada priz geciktirici olarak tartarik asit ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) ve tartarik asiti aktifleştirmek amacıyla kireç (CaCO_3) kullanılmıştır. İncelenen XRD difraktogramında kireç içeriğinden dolayı Calcite (CaCO_3) olarak adlandırılan mineral tespit edilmiştir. Pomzanın kimyasal birleşiminde bulunan SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O içeriğinden ve silis dumanı yapısında bulunan SiO_2 , Al_2O_3 , MgO içeriğinden dolayı Kyanite ve Enstatite olarak adlandırılan mineraller XRD analizinde görülmüştür.



Şekil 3.47. N9 Serisine Ait XRD Difraktogramı

(1: Gypsum (CaSO_4), 2: Calcite (CaCO_3) 3:Kyanite (Al_2SiO_5), 4: Staurolite ($\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O},\text{OH})_2$))

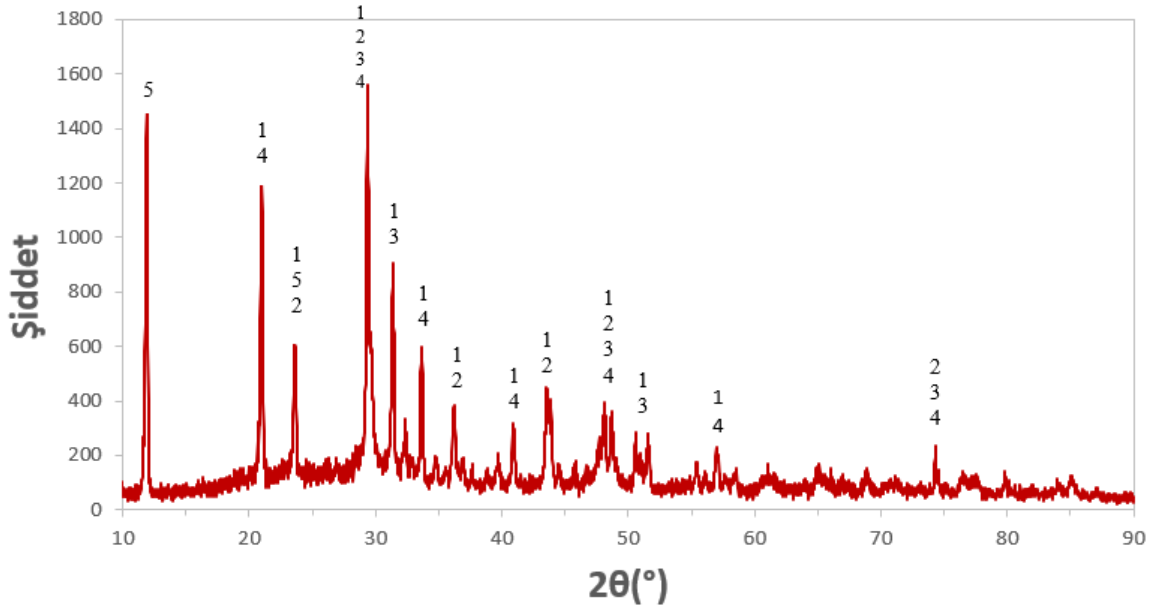
N9 serisine ait XRD difraktogramı incelendiğinde (Şekil 3.47) ; kompozitteki alçı ve kireç içeriğinden dolayı CaSO_4 ve CaCO_3 fazı görülmektedir. Pomzanın kimyasal birleşiminde bulunan SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O içeriğinden ve yüksek fırın cürufunun yapısında bulunan SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Fe_2O_3 içeriğinden dolayı Kyanite, Calcite ve Enstatite olarak adlandırılan mineraller XRD analizinde görülmüştür.



Şekil 3.48. N11 Serisine Ait XRD Difraktogramı

(1: Gypsum (CaSO_4), 2:Corundum (Al_2O_3), 3:Enstatite ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), 4: Calcite (CaCO_3))

N11 serisine ait XRD difraktogramı incelendiğinde (Şekil 3.48) ; kompozitteki alçı ve kireç içeriğinden dolayı CaSO_4 ve CaCO_3 fazı görülmektedir. Yüksek fırın cürufunun yapısında %13,32 oranında bulunan Al_2O_3 içeriğinden dolayı Corundum olarak adlandırılan mineral XRD analizinde tespit edilmiştir. Ayrıca kompozitte Enstatite olarak adlandırılan mineralin varlığına rastlanmıştır.



Şekil 3.49. N12 Serisine Ait XRD Difraktogramı

(1: Gypsum (CaSO_4), 2: Calcite (CaCO_3), 3:Akermanite ($\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$), 4:Kyanite (Al_2SiO_5), 5: Quartz (SiO_2))

N12 serisine ait XRD difraktogramı incelendiğinde (Şekil 3.49); kompozitteki alçı ve kireç içeriğinden dolayı CaSO_4 ve CaCO_3 fazı görülmektedir. Yapılan XRD analizinde yüksek fırın cürufu, pomza ve silis dumanının kimyasal yapısında yüksek oranda bulunan SiO_2 fazı tespit edilmiştir. Ayrıca Akermanite ve Kyanite olarak adlandırılan mineraller XRD analizinde görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal ve yapay elyaflar ile güçlendirilmiş puzolan ikameli alçı sıvaların özelliklerinin araştırıldığı bu tez çalışmasında; alçı sıvalara katkı malzemesi olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kenevir lifi ve cam lifi eklenmiş ve oluşturulan kompozitlerin özellikleri incelenmiştir. Çalışmada silis dumanı ve yüksek fırın cürufu ağırlıkça %0, %10, %20, %30 oranlarında, kenevir lifi ve cam lifi %0, %0,2, %0,4, %0,6 oranlarında kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.6 ve 0.7 olarak değişken tutulmuştur. Taguchi metodu kullanılarak karışım oranları belirlenmiş ve böylece daha az deney sayısı ile daha çok parametrenin analizi yapılmış, kapsamlı sonuçlar elde edilmiştir. Alçı sıvaların işlenebilirliğini test edebilmek için taze haldeki karışımlar üzerinde yayılma tablası ve priz süresi tayini deneyleri yapılmıştır. Üretilen alçı sıva numuneleri üzerinde ise eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmış, sonuçlar Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin mikro yapı incelemelerinde SEM, EDS ve XRD analizlerinden faydalanılarak mineralojik ve morfolojik özellikler tanımlanmıştır.

Yayılma tablası deneyi sonuçlarına göre, yüksek fırın cürufu oranının artması işlenebilirliği arttırırken, silis dumanı oranının artması işlenebilirliği düşürmüştür. Ayrıca su/bağlayıcı oranı arttıkça işlenebilirliğin arttığı görülmüştür. Silis dumanının ince yapısı kompozitin su ihtiyacını arttırmıştır. Bu durum literatürü destekler niteliktedir [37].

Priz süresi tayini deney sonuçlarına göre, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu oranının artması priz süresini uzatmıştır. Yani kullanılan ham alçı oranı arttıkça priz süresi kısalmıştır. Deneylerde kullanılan ham alçının priz süresinin 8 -10 dk arasında olduğu bilinmektedir ve bu süre TS-EN 13279-1 standardına göre sıva alçısı için gerekli şartları sağlamamaktadır. Priz geciktirici olarak kullanılan tartarik asitin ve çalışmada kullanılan puzolanların priz süresinin uzaması ve gerekli şartların sağlanması üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerlerine göre; silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkısının dayanım değerlerinde düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Puzolanların %10 oranına kadar kullanılması dayanımda çok fazla kayıp oluşturmazken, %10'dan fazla kullanılması dayanımları ciddi oranda düşürmüştür. Bu durum bu konuda daha önce yapılan çalışmaları desteklemektedir [37]. 7 günlük dayanımlarda, erken dayanıma fayda sağlayan silis dumanının etki oranı daha yüksekken, 28 günlük dayanımlarda, nihai dayanıma fayda sağlayan yüksek fırın cürufunun etki oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Lif katkısı arttıkça 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür ve literatüre paralel veriler elde edilmiştir [36].

Parametre seviyelerinin kapiler su emme katsayısı üzerinde etkileri incelendiğinde, silis dumanı katkısının artması 0-60 dakikalık süreçte ki katsayıyı gösteren birincil kapilerite katsayısını düşürmüştür. Silis dumanının ince yapısının kompozit içerisinde kapiler boşluk oranını düşürmesi

literatür ile paralellik göstermektedir [37]. Yüksek fırın cürufu katkısı, 0-60 dakikalık zaman diliminde kapilerite katsayısını arttırırken, 90-360 dakikalık zaman diliminde kapilerite katsayısını düşürmüştür. Birincil kapilerite katsayıları incelendiğinde silis dumanının iyileştirici etkisi daha belirginken ikincil kapilerite katsayıları üzerinde yüksek fırın cürufunun iyileştirici etkisi daha belirgin görülmektedir.

Birim ağırlık deney sonuçlarına göre, elyaf katkısının birim ağırlık değerleri üzerinde çok fazla etkisi görülmez iken puzolan katkısının birim ağırlık değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Silis dumanı ve yüksek fırın cürufu oranı arttıkça alçı sıva numunelerin birim ağırlık değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

İncelenen SEM görüntülerinde yüksek fırın cürufu katkılı serilerin silis dumanı katkılı seriler ile karşılaştırıldığında silis dumanının daha hamur fazda olduğu ve kapiler boşlukları doldurduğu gözlemlenmiştir. Kenevir lifleri ile sağlanan aderansın cam liflerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

ÖNERİLER

Farklı katkı malzemeleri kullanarak çalışmanın geliştirilebilmesi mümkündür. Aynı zamanda farklı parametre ve seviyeler kullanılarak çalışma geliştirilebilir.

Kullanılan lif oranının en yüksek olduğu parametre seviyesinin bu çalışma için en yüksek dayanım değerlerini verdiği görüldüğünden lif katkı oranının artmasının eğilme dayanımını arttıracığı düşünülmektedir. Çalışma farklı çeşit ve daha yüksek oranda lifler kullanılarak geliştirilebilir.

Yapılan SEM analizlerinde kullanılan liflerin bağlayıcı malzeme ile yeterli aderansı sağlamayı görmektedir daha sonra yapılacak çalışmalarda aderans artırıcı katkı malzemeleri kullanılarak çalışma geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Alçı Tanıtım Kitapçığı, http://www.alcider.org.tr/docs/alci_tanitim.pdf, Erişim Tarihi: Mayıs 2023)
- [2] Martias, C., Joliff, Y., & Favotto, C. J. C. P. B. E. (2014). Effects of the addition of glass fibers, mica and vermiculite on the mechanical properties of a gypsum-based composite at room temperature and during a fire test. *Composites Part B: Engineering*, 62, 37-53.
- [3] Gürdal, E. Bir Yapı Malzemesi Olarak ALÇI. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (4), 37-43. [4] Nishiyama, Z. (1978). *Martensitic Transformation*, Academic Press, New York
- [4] Şener, M. (2012). Mekanik Aktivasyonun Jipsin Isıl Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi.
- [6] Bakırer, Ö. (1976). *Onüç Ve Ondördüncü Yüzyıllarda Anadolu Mihrabları*, Ankara.
- [7] TS-EN 13279, (2014). Yapı alçıları ve sıva alçıları – Bölüm 1: Tarifler ve Gerekler, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- [8] Dumlu, A. (2013). Cam Lifi ve Atık Lastik Katkılı Alçı Kompozitlerin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- [9] İpekci, C. A., & Aköz, F. (2010). Ceramic and Mould Gypsum Properties Used for Forming Ceramics. *Sigma*, 28, 249-258.
- [10] Uzer, F. (1996). Ahşap testere talaşlı alçı kompozitler, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11] Temelkuran, E.L. (2019). Çoklu Döküm Alçı Kalıp Karakterizasyonu ve Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [12] Erdem, S., Geri Dönüştürülmüş Pet Lifi- Alçı Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [13] Koyutürk, G. (2022). Alçı-Kireç-Puzolan Esaslı Harçlarda Bazı Atık Kireç Kaynaklarının Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi.
- [14] ASTM C 618-15, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, 1994.
- [15] Kullebi, E. (2022). Pomza Tozu İkameli Harçlarda Çimento Türü ve Puzolan İnceliğinin Puzolanik Aktiviteye Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi.
- [16] Erdoğan, T., (2004). Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [17] Över, D. (2012). Early Heat Evolution in Natural Pozzolan-Incorporated Cement Hydration, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- [18] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education.
- [19] Bayırlı, M., & Pekin, A. (2013). Volkanik tüf yüzeyi gözeneklerinin özelliklerinin birikinti geometrisi kullanarak incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 66-72.
- [20] Mısır, M. (2021). Elazığ ferrokrom cürufu ile alkali aktive edilmiş cam lifi ve atık mermer tozu katkılı harçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [21] Taştımur, O. (2021). Uçucu kül ve cam lifi içeren cürufu ile alkali aktive edilmiş harçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.

- [22] Yeğinoğlu, A. (2009). Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı. TÇMB/AR-GE/ Y01.01, Ankara
- [23] Tokyay, M., Erdoğan, K. (1997). "Cürufur ve cürufur çimentolar", TÇMB/AR-GE/Y97.2, Ankara.
- [24] Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş. (2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 426(4), 115-120.
- [25] Yıldız, S., Balaydın, İ., & Ulucan, Z. Ç. (2007). Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi, Fırat Üniversitesi Kurumsal Açık Arşiv.
- [26] Bölükbaş, Y. (2011). Cam Elyaf Katkılı Beton Numunelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [27] Aran, A., 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- [28] Yakartepe, M., Yakartepe, Z. (1995), Tekstil Teknolojisi, T.K.A.M. Yayınları, Cilt 1, 2, 4, İstanbul
- [29] Murthada, A., Arslan, M.H., Altın, M. (2019). "Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi", Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(2)
- [30] Ulusoy U. (2016). Bazalt ve Cam Elyaf Takviyeli Biyo-Bazlı Poliamid Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi.
- [31] Günaydın, O. & Güçlüer, K. (2018). Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması . El-Cezeri , 5 (2) , 416-424 .
- [32] Şimşek, N. (2021). Kenevir Lifi, Keçi Kılı Ve Polipropilen Elyaf Katkılı Horasan Harcının Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi.
- [33] Aslan, H. (2022). Elazığ Ferrokrom Cürufu İle Üretilen Alkali Aktivasyonlu Harçların Taze Harç Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [34] Eken, A. (2022). Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Optimizasyon Yöntemi ile Farklı Parametre ve Yapılarda Üreteçler Kullanılarak Vorteks Tüpü Performansının Termodinamik Açidan İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [35] Canbaz, M. (2007). Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufur Harçların Özellikleri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [36] Turan, M. T. (2017). Farklı lif çeşitlerinin ve sodyum silikat solüsyonunun alçı malzeme özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [37] Yıldız, S., Yalınbaş, M., Keleştemur, O. (2006). Silis Dumanı Katkılı Yapı Alçılarında Basınç Dayanımının Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(3), 15-21.
- [38] Yıldız, S. A. (2020). Material Properties of Basalt-Fiber-Reinforced Gypsum-Based Composites Made with Metakaolin and Silica Sand. Mechanics of Composite Materials, 56(3), 379-388.
- [39] Dolezelova, M., Scheinherova, L., Krejsova, J., Keppert, M., Cerny, R., Vimmrova, A. (2021). Investigation of gypsum composites with different lightweight fillers. Construction and Building Materials, 297, 123791
- [40] Serna, A., Rio, M., Palomo, J. G., Gonzalez, M. (2012). Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. Construction and Building Materials, 35, 633-641
- [41] Yıldız, S. A. (2018). Mechanical performance of glass fiber reinforced composites made with gypsum, expanded perlite, and silica sand.

- [42] Ngah, S. A., Dams, B., Ansell, M. P., Stewart, J., Hempstead, R., & Ball, R. J. (2020). Structural performance of fibrous plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites. *Construction and Building Materials*, 259, 120396.
- [43] Rivero, A. J., Guzman Baez, A., Navarro, J. G. (2014). New Composite Gypsum Plaster- Groud Waste Rubber Coming From Pipe Foam İnsulation, *Construction and Building Materials*, 55, 146-152
- [44] Cengiz, O. (2009). Effects Of Pozzolan Incorporation and Curing Conditions on Strength and Water Resistance Of Natural Gypsum Pastes, *Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi*.
- [45] Iucolano, F., Boccarusso, L., & Langella, A. (2019). Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107073.
- [46] Iucolano, F., Liguori, B., Aprea, P., & Caputo, D. (2018). Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 185, 256-263..
- [47] Karaman, S., Şahin, S., Örüñg, İ., & Pabuçcu, K. (2006). Ağaç Yaprığı ve Pomza Katkılı Alçı Kompozitlerin Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11(1).
- [48] TS EN 196-7, 2010. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 7: Çimentodan numune alma ve numune hazırlama yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- [49] TS-EN 13279-2.(2014). Yapı alçıları ve sıva alçıları – Bölüm 2: Deney yöntemleri, *Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara*.
- [50] TS EN 12504-4, (2004). “Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [51] Köker, T. Ş. (2019). Hafif Agregalı Geopolimer Harçların Mekanik ve Durabilite Özellikleri.

ÖZGEÇMİŞ

Şevval BALOĞULLARI

[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]