

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİNERAL KATKILI HARÇ NUMUNELERİNİN YÜKSEK
SICAKLIK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

MUHAMMED RAŞİT YALDIZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADİYAMAN, 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİNERAL KATKILI HARÇ NUMUNELERİNİN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Raşit YALDIZ

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜÇLÜER
Yıl : 2021, Sayfa sayısı: 95

Jüri : Prof. Dr. Fatih ÖZCAN
Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Doç. Dr. M. Fatih ŞAHAN
Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜÇLÜER
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL

Yapılan bu tez çalışmasında, mineral katkılı harç numunelerin yüksek sıcaklık davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda harç sistemi içerisindeki bağlayıcı malzeme olan çimento ile %10, %20, %30 oranında bazalt, profillit ve olivin mineralleri ikame edilmiştir. Hazırlanan şahit ve mineral katkılı numunelere 28 gün boyunca standart su kürü uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık davranışlarını belirleyebilmek için şahit numuneler dışında (20 °C), diğer numuneler 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C ve 900 °C sıcaklık değerlerine ulaştıktan sonra bir saat süre ile bu sıcaklıklarda bekletilmişlerdir. Harç numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, nokta yük dayanımı, görünür porozite deneyleri ve taguchi optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Deneysel araştırmalar sonucunda, tüm sıcaklık değerlerinde mineral katkılı numuneler arasında en iyi sonuçların %10 bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Şahit numuneler ise tüm deney sonuçlarında katkılı numunelerden daha iyi sonuçlar göstermişlerdir. Taguchi optimizasyon yöntemine göre ise tahmini değerler ile deneysel veriler arasında pozitif yönlü güçlü doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harç; Yüksek sıcaklık; Mineral katkı; Fiziksel ve mekanik özellik

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE HIGH TEMPERATURE BEHAVIOR OF MINERAL MORTAR SAMPLES

Muhammed Raşit YALDIZ

Adiyaman University
Institute of Graduate Science
Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Kadir GÜÇLÜER
Year : 2021 , Number of pages: 95

Jury : Prof. Dr. Fatih ÖZCAN
Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Assoc. Prof. Dr. M. Fatih ŞAHAN
Asst. Prof. Dr. Kadir GÜÇLÜER
Asst. Prof. Dr. İsmail ÜNSAL

In this thesis study, the high temperature behaviors of mineral-added mortar samples were examined experimentally. Accordingly, 10%, 20%, 30% basalt, profillite and olivine minerals were replaced with cement, which is the binding material in the mortar system. For 28 days standard water cure was applied to the witnesses and mineral-added samples which had been prepared. In order to determine their high temperature behavior, apart from the witness samples (20 °C), the other samples were kept at these temperatures for one hour after reaching the temperature values of 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C and 900 °C. In order to determine the physical and mechanical properties of the mortar samples, unit weight, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, tensile strength, point load index, apparent porosity tests and taguchi optimization method were applied. As a result of the experimental studies, it was determined that the best results among the mineral-added samples at all temperature values were obtained with 10% basalt, profillite and olivine-added samples. Witness samples, on the other hand, showed better results than the additive samples in all test results. According to the Taguchi optimization method, it was determined that there was a strong positive linear relationship between the estimated values and the experimental data.

Key Words: Mortar; High temperature; Mineral additive, Physical and mechanical property

BEYAN

“Mineral Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Davranışlarının İncelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Muhammed Raşit YALDIZ

imza

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başlamasında, hazırlanmasında ve sonuçlanmasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜÇLÜER'e çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen eşime teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
RESİMLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI	3
2.1. Harç Sistemi	3
2.1.1. Harçların Tarihçesi.....	3
2.1.2. Harçların Özellikleri.....	3
2.1.3. Harç Çeşitleri	4
2.1.4. Harçların Kullanım Alanı ve Amacı	5
2.2. Yüksek Sıcaklığın Harç Üzerindeki Etkisi.....	5
2.3. Mineral Katkılar	6
2.3.1. Bazalt.....	7
2.3.1.1. Bazaltın Kullanım Alanları	8
2.3.1.2. Bazaltın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	8
2.3.2. Profilit	9
2.3.2.1. Profilitin Kullanım Alanları	9
2.3.2.2. Profilitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	10
2.3.3. Olivin.....	10
2.3.3.1. Olivinin Kullanım Alanları	10
2.3.3.2. Olivinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	11
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	12
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	18
4.1. Materyal	18

4.1.1. Çimento	18
4.1.2. Bazalt.....	18
4.1.3. Profillit	19
4.1.4. Olivin.....	19
4.1.5. Lazer Tane Boyut Analizi	20
4.2. Yöntem.....	21
4.2.1. Harç	21
4.2.1.1. Harç İçeriği.....	21
4.2.1.2. Deney Numunelerinin Üretimi.....	22
4.2.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulaması	25
4.2.2. Uygulanan Deneyler.....	26
4.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	26
4.2.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	27
4.2.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	27
4.2.2.4. Basınç Dayanımı Deneyi.....	28
4.2.2.5. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deneyi	29
4.2.2.6. Görünür Porozite Deneyi	31
4.2.2.7. Taguchi Optimizasyon Yöntemi	32
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	34
5.1. Birim Hacim Ağırlık Bulguları	34
5.2. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları.....	35
5.3. Eğilme-Basınç Dayanımı Bulguları	37
5.4. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deneyi Bulguları	44
5.5. Görünür Porozite Deneyi Bulguları	46
5.6. Taguchi Optimizasyon Yöntemi Bulguları	50
5.7. DeneySEL Bulguların Karşılaştırılması	54
5.7.1. Birim Hacim Ağırlık-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması..	54
5.7.2. Ultrases Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması	59
5.7.3. Eğilme-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması.....	65
5.7.4. Nokta Yük-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması.....	70
5.7.5. Görünür Porozite-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması	76
5.7.6. Görünür Porozite-Ultrases Geçiş Hızı Bulgularının Karşılaştırılması	82

6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR	91
KİŞİSEL BİLGİLER.....	95



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yapılardaki harç uygulama alanları [6]	5
Çizelge 4.1 Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	18
Çizelge 4.2 Lazer tane boyut analizi değerleri.....	20
Çizelge 4.3 Harç sistemindeki malzeme miktarları (g).....	22
Çizelge 5.1 Sıcaklık öncesi ve sonrası birim hacim ağırlık deney sonuçları	34
Çizelge 5.2 Sıcaklık öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları	36
Çizelge 5.3 Eğilme dayanımı deney sonuçları.....	38
Çizelge 5.4 Basınç dayanımı deney sonuçları.....	39
Çizelge 5.5 Nokta yük dayanımı deney sonuçları.....	45
Çizelge 5.6 Görünür porozite deney sonuçları.....	46
Çizelge 5.7 Deney seviyeleri ve parametreler.....	51
Çizelge 5.8 Varyans analizi bulguları	52
Çizelge 5.9 Regresyon denklemleri	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Lazer tane boyut analizi grafiği	20
Şekil 4.2 Yüksek sıcaklık uygulama grafiği	26
Şekil 5.1 Şahit-%10 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği	41
Şekil 5.2 Şahit-%20 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği	42
Şekil 5.3 Şahit-%30 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği	42
Şekil 5.4 Şahit-%10 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği.....	43
Şekil 5.5 Şahit-%20 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği.....	43
Şekil 5.6 Şahit-%30 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği.....	44
Şekil 5.7 %10 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği.....	47
Şekil 5.8 %20 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği.....	48
Şekil 5.9 %30 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği.....	48
Şekil 5.10 %10 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği	49
Şekil 5.11 %20 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği	49
Şekil 5.12 %30 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği	50
Şekil 5.13 Basınç dayanımı için ortalama S/N oranı üzerindeki parametre etkileri ..	51
Şekil 5.14 Basınç dayanımına ait S/N oranları için artık değer grafiği	52
Şekil 5.15 Kuadratik regresyon modeli ile elde edilen tahmini basınç dayanımı ile gerçek basınç dayanımı karşılaştırması.....	53
Şekil 5.16 Şahit serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları.....	54
Şekil 5.17 B10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	55
Şekil 5.18 B20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	55
Şekil 5.19 B30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	56
Şekil 5.20 P10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları.....	56
Şekil 5.21 P20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları.....	57
Şekil 5.22 P30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları.....	57
Şekil 5.23 O10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	58
Şekil 5.24 O20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	58
Şekil 5.25 O30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları	59
Şekil 5.26 Şahit serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları	60
Şekil 5.27 B10 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	60
Şekil 5.28 B20 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	61
Şekil 5.29 B30 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	61
Şekil 5.30 P10 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları	62
Şekil 5.31 P20 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları	62
Şekil 5.32 P30 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları	63
Şekil 5.33 O10 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	63
Şekil 5.34 O20 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	64
Şekil 5.35 O30 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları.....	64
Şekil 5.36 Şahit serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları.....	65
Şekil 5.37 B10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	66
Şekil 5.38 B20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	66
Şekil 5.39 B30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	67
Şekil 5.40 P10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları.....	67

Şekil 5.41 P20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları.....	68
Şekil 5.42 P30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları.....	68
Şekil 5.43 O10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	69
Şekil 5.44 O20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	69
Şekil 5.45 O30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları	70
Şekil 5.46 Şahit serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları.....	71
Şekil 5.47 B10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	71
Şekil 5.48 B20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	72
Şekil 5.49 B30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	72
Şekil 5.50 P10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları.....	73
Şekil 5.51 P20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları.....	73
Şekil 5.52 P30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları.....	74
Şekil 5.53 O10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	74
Şekil 5.54 O20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	75
Şekil 5.55 O30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları	75
Şekil 5.56 Şahit serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	76
Şekil 5.57 B10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	77
Şekil 5.58 B20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	77
Şekil 5.59 B30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	78
Şekil 5.60 P10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	78
Şekil 5.61 P20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	79
Şekil 5.62 P30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları.....	79
Şekil 5.63 O10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları	80
Şekil 5.64 O20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları	80
Şekil 5.65 O30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları	81
Şekil 5.66 Şahit serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	82
Şekil 5.67 B10 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları	83
Şekil 5.68 B20 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları	83
Şekil 5.69 B30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları	84
Şekil 5.70 P10 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	84
Şekil 5.71 P20 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	85
Şekil 5.72 P30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	85
Şekil 5.73 O10 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	86
Şekil 5.74 O20 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	86
Şekil 5.75 O30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları.....	87

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1 Öğütülmüş bazalt	18
Resim 4.2 Öğütülmüş profillit	19
Resim 4.3 Öğütülmüş olivin	19
Resim 4.4 Harç mikseri.....	23
Resim 4.5 Kalıplara yerleştirilen numuneler	24
Resim 4.6 Numunelere kür uygulanması	24
Resim 4.7 Yüksek sıcaklık uygulaması	25
Resim 4.8 Eğilme dayanımı cihazı.....	28
Resim 4.9 Basınç dayanımı cihazı	29
Resim 4.10 Nokta yük dayanım deneyi cihazı.....	31
Resim 4.11 Görünür porozite deneyi	32
Resim 5.1 Eğilme dayanımı uygulaması.....	37
Resim 5.2 Basınç dayanımı uygulaması	39
Resim 5.3 Nokta yük dayanım deneyi	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	: derece santigrat
cm ²	: santimetrekaare
cm ³	: santimetreküüp
dk	: dakika
g	: gram
kg	: kilogram
km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metrekaare
m ³	: metreküüp
mm	: milimetre
mm ²	: milimetrekaare
sn	: saniye
µm	: mikrometre

Kısaltmalar

ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
B	: Bazalt
CaO	: Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
C ₃ A	: Trikalsiyum alüminat
CSH	: Kalsiyum silikat hidrat
CEM II	: Portland kompoze çimento
EN	: Avrupa Standartları
Fe ₂ O ₃	: Demir (III) oksit
H ₂ O	: Su
KN	: Katkılı numune
MgO	: Magnezyum oksit
MPa	: Megapascal
N	: Newton
O	: Olivin
P	: Profillit
R	: Korelasyon katsayısı
SiO ₂	: Silisyum dioksit
TS	: Türkiye Standartları
V	: Sesüstü dalga hızı

1. GİRİŞ

Yapıların yangın güvenliği ve yapı malzemelerinin yüksek sıcaklık karşısındaki davranışları, günümüz modern inşaat endüstrisi açısından oldukça önemlidir. Yapı malzemelerinin yangın veya yüksek sıcaklık etkisi ile mekanik ve fiziksel özellikleri negatif yönde etkilenmektedir. Yüksek sıcaklık etkisi yapılarda kalıcı tahribatlar oluşturmakta, yapıların yeniden kullanılabilmesini güç hale getirmektedir [1]. Yangın veya yüksek sıcaklık etkisi yapı malzemelerinin kullanımı ile birlikte sürekli araştırma konusu olmuştur. Yapı elemanlarının yangın etkisine maruz kalması ile birlikte, yaklaşık 15 dakika içerisinde sıcaklık değerinin 700 °C'ye ulaştığı, yangın etkisi boyunca da 1200 °C sıcaklıklara ulaşabildiği araştırmalar sonucu görülmektedir [2].

Harç; çimento, su ve kumun birlikte karılmasıyla elde edilen yapı malzemesidir. Literatür kaynakları incelendiğinde, harçlarda kullanılan çimento hamurunun belirli bir sıcaklık dayanımı bulunmaktadır. Çimento hamurunun yapısında bulunan serbest su 100-200 °C'deki sıcaklıklarda buharlaşır. 300 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra CSH ile kimyasal bağ suyunun belirli bir kısmını kaybeder ve mikro çatlaklar oluşmaya başlar. Sıcaklık değerinin 400-600 °C'ye ulaşması ile çimento hamurunda tepkimeler meydana gelmektedir. Tepkimelerin meydana gelmesi ile birlikte çimento hamuru içindeki boşluklar kurur, hidrasyon ürünleri ayrışır ve CSH jelleri parçalara ayrılır. Sıcaklık değeri 400 °C'ye ulaşmış bir numunenin su ile ani bir şekilde soğutulması CaO'ı sıcaklık ile çözülmüş olan Ca(OH)₂'e dönüştürerek hacim artışına sebep olmaktadır. Meydana gelen hacim artışı çimento hamurunun dayanımını düşürmektedir [3]. Yapılan deneysel çalışmalarda çimento hamurunda oluşan mukavemet kaybı, mineral katkıları yardımı ile önlenmeye çalışılmaktadır.

Yapı elemanının yüksek sıcaklık karşısında zarar görmesi can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Sıcaklık etkisinin artması, yapı elemanının dış kısmında bulunan koruyucu harç malzemesinin dağılmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinin devam etmesi beton yüzeyinin tahribatına neden olmakta ve pas payını geçerek donatı elemanına ulaşmaktadır. Donatının maruz kaldığı sıcaklık değerinin

600 °C'ye ulaşması ile birlikte statik açıdan zayıflamasına ve çökme yaşanmasına neden olabilmektedir [4].

Yapı elemanlarını yüksek sıcaklık etkisinden koruyabilmek için en dış katmandan başlayarak gerekli önlemler alınmaktadır. Koruyucu etki sağlamak amacıyla taş yünü, cam köpüğü, poliüretan köpük ve yanmaz boyalar gibi farklı yapı malzemeleri üretilmiştir. Üretilen bu malzemeler belirli bir sıcaklık dayanımı sağlamakta ve yüksek sıcaklıklara karşı gerekli mukavemeti gösterememektedirler. Yapıları yüksek sıcaklığa karşı koruyabilmek için kullanılan harç malzemeleri içinde çok sayıda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda harç sisteminin yüksek sıcaklık karşısındaki performansını arttırmak için de çeşitli katkı ve yöntemlere başvurulmuştur. Kullanılan katkı çeşitlerinden biri de mineral katkılardır. Günümüzde harç sisteminin yüksek sıcaklık karşısındaki durabilite özelliklerini iyileştirmek ve üretim maliyetini azaltmak adına çeşitli mineral katkılar kullanılmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada, yüksek sıcaklığın harç sistemi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Harç sistemi içerisinde yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olan bazalt, olivin ve profillit mineralleri çimento ile %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık davranışlarını belirleyebilmek için şahit numuneler dışında (20 °C), diğer numuneler 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C ve 900 °C sıcaklık değerlerine maruz bırakılarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimleri incelenmiştir.

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI

2.1. Harç Sistemi

Harçlar, geçmişten günümüze kadar farklı tiplerde yapı malzemesi olarak kullanılmışlardır. Tarih boyunca kullanılan harç tipleri, kullanıldığı dönemle ilgili kaynak niteliğinde bilgiler vermektedir. Geleneksel bir yapı malzemesi olan harç, kullanıldığı bölgeye, oluşturulma şekline, kullanım amacına göre farklılıklar göstermektedir [5].

Harç; bağlayıcı malzeme, su, ince agrega ve gerekli durumda katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen yapı malzemesidir. Harç, bünyesinde iri agrega bulundurmeyen bir betondur [6].

Yapıyı oluşturan kolon, kiriş ve diğer yapı elemanlarını bir arada tutan betondaki agregalar yeterli ısı izolasyonunu sağlayamamaktadır. Isı izolasyonu sağlanamadığında ısı köprüleri meydana gelmektedir. Mevcut ısı köprülerini önlemek için ince agregalı harçlar kullanılmaktadır [7].

2.1.1. Harçların Tarihçesi

Tarih boyunca yapılan harç tipleri incelendiğinde, ilk harç sisteminde bağlayıcı malzeme olarak kil kullanıldığı ve bu şekilde yapılara uygulandığı tespit edilmiştir. Gelişen imkanlar ile birlikte Mısır'da bağlayıcı malzeme olarak alçı, Roma'da kireç ve puzolanik, Osmanlı'da Horasan, Avrupa da ise çimentolu harç sistemleri oluşturulup yapılara uygulanmıştır. Çimentolu harçlar günümüzde de yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir [5].

2.1.2. Harçların Özellikleri

Harçlar genel olarak yeterli mukavemete sahip olmalı, agregalar ile gerekli aderansı sağlamalı, priz alırken hacim değişikliği standart değerlerde olmalı,

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI Muhammed Raşit YALDIZ

boşluksuz bir yapıya sahip olmalı, aşınmaya ve dış etkenlere karşı dayanıklı olmalıdırlar [5].

Harç sistemi içerisindeki agrega boyutu, s/ç oranı ve bağlayıcı malzemenin norm dayanımı, harç sisteminin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Harç sisteminin gerekli mukavemeti sağlaması, dış etkenlere ve yıpranmalara karşı dayanıklı olması harç sisteminin boşluk oranının az olmasına bağlıdır. Boşluk oranını azaltmak için agrega tane boyutuna dikkat edilmelidir [5].

Harç sistemi içerisinde aderansı sağlamak için bağlayıcı malzemenin kohezif etkisi iyi seviyede olmalıdır. Prizini tamamlamamış plastik kıvamlı harçların aderansı daha yüksektir [5].

Harç içerisindeki bağlayıcı malzemenin tipine göre farklı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Oluşan bu reaksiyonlar harç sistemi içerisinde hacim değişikliğine sebep olmaktadır. Çimento içerisinde yer alan ana bileşenlerdeki farklılıklar ve çimento tipi, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. [5].

Taze harcın priz alma süresi boyunca dış etkenlere maruz kalması su kaybetmesine neden olur, su kaybeden harcın hidrasyonunda gecikme yaşanmaktadır. Mevcut hidrasyonun gerçekleşebilmesi ve devam edebilmesi için nemli ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Harç sistemi hazırlanırken soğuk etkisinde kalarak don oluşması harç yapısını negatif yönde etkilemektedir [5].

2.1.3. Harç Çeşitleri

Harçlar yapılarına eklenen malzeme türüne göre alçı, kil, kireç, melez ve çimento harçlar olmak üzere beş gruba, yapıdaki kullanım farklılığına göre ise duvar ve sıva harçları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Harç tipleri içerisinde en iyi mukavemete sahip olan çimento harçlarıdır [8].

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI Muhammed Raşit YALDIZ

2.1.4. Harçların Kullanım Alanı ve Amacı

Yapı içerisinde bulunan elemanların birbirileri arasındaki bağlantıyı sağlayan yapı malzemesi harçlardır. Yüzeye gelen basınç etkisini dağıtarak, yüzeyin kırılmasını engeller. Taş ya da tuğladan yapılmış yığma yapıların yapımında kullanılan harçlar, az da olsa basınç dayanımı sağlamaktadır. Harçların diğer bir kullanım amacı da yapı elemanlarına dışarıdan gelecek etkenleri engellemektir [6] (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Yapılardaki harç uygulama alanları [6]

HARÇ ÖZELLİĞİ	KULLANIM ALANI	HARÇ TÜRÜ
Aderans, kolay işlenebilirlik	Tavan, duvar sıvası	Kireç, melez harç
Mukavemet, geçirimsizlik	Zemin kaplaması, şap	Çimento harcı
Suyun zarar vereceği yüzeyler	İç sıva, süsleme	Alçı harçları

2.2. Yüksek Sıcaklığın Harç Üzerindeki Etkisi

Çimento hamurunun yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması ile birlikte, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler, kararsız bir bileşen olduğunu göstermektedir. Sıcaklık etkisinin başlaması ile birlikte çimento hamuru bünyesinde ki su, 100-200 °C sıcaklıklarda buharlaşmaya başlamaktadır. Sıcaklık değeri 300 °C'ye ulaştığında bünyesindeki bağlı su kaybı ve kimyasal çözülme önem kazanır. Sıcaklık değeri 600 °C'de termal etkenlere önem kazandırmaktadır [9].

Yüksek ısı genleşmeler etkisinde kalan beton veya harçlarda çatlak meydana gelmesinin belli sebepleri bulunmaktadır. Çimento hamurunda priz alma esnasında meydana gelen kılcal çatlaklar rötreten dolayı oluşmaktadır. Oluşan rötre çatlakları yüksek sıcaklık etkisi ile büyümeye başlamaktadır. Meydana gelen çatlaklar 200 °C altındaki sıcaklıklarda birleşerek büyük çatlaklar meydana gelmektedir. 300 °C sıcaklığa ulaşıldığında çatlaklar çimento fazını geçerek, agregayı etkilemeye başlamaktadır. 500 °C sıcaklıkta çatlakların boyutu 0.01 mm'den büyük olmaktadır. Buna bağlı olarak agregalarda çatlaklar meydana gelmekte ve gözle görülebilecek boyuta ulaşmaktadır [10].

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI Muhammed Raşit YALDIZ

Çimento hamuru %70-80 oranında CSH jeli, %20 Ca(OH)_2 ve diğer hidratasyon ürünlerinden meydana gelir. Çimento hamuru yapısında bulunan serbest su 100-200 °C'deki sıcaklıklarda buharlaşır. 300 °C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra CSH ile kimyasal bağ suyunun belirli bir kısmını kaybeder ve mikro çatlaklar oluşmaya başlar. Sıcaklık değerinin 400-600 °C'ye ulaşması ile çimento hamurunda tepkimeler meydana gelmektedir. Tepkimelerin meydana gelmesi ile birlikte çimento hamuru içindeki boşluklar kurur, hidratasyon ürünleri ayrışır ve CSH jelleri parçalara ayrılır. Sıcaklık değerinin 530 °C'ye ulaşması ile birlikte Ca(OH)_2 'in sönmemiş kirece dönüştüğü tespit edilmiştir. Dönüşüm ile birlikte %33 oranında büzülme meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak malzemenin su ile ani bir şekilde soğutulması CaO 'i yeniden sıcaklık ile çözülmüş olan Ca(OH)_2 'e dönüştürerek hacim artışına sebep olmaktadır. Meydana gelen hacim artışı çimento hamurunun dayanımını düşürmektedir [11].

2.3. Mineral Katkılar

Mineral katkıları, beton ya da harç imalatında kullanılan, gerekli ana bileşenlerin dışında ilave edilen, belirli boyutlara kadar öğütülmüş katkı malzemesidir. Volkanik tüf, pişirilmiş kil, uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, volkanik kül beton imalatında kullanılan temel mineral katkılardır. Bu katkıları puzolanik özellik göstermektedir [12].

Puzolanlar tek başına bağlayıcılık özelliği bulunmayan ya da az miktarda bağlayıcılık özelliği olan malzemelerdir. Aynı zamanda puzolanlar ince taneli yapıdayken, su bulunan ortamda kalsiyum hidroksitle bir araya gelerek, hidrolik bağlayıcı özelliği gösteren silisli ve alüminli malzemelerdir [13].

Puzolanik malzemenin bağlayıcı olması için şu özelliklere sahip olması gerekmektedir [14]:

- Beton ya da harç sistemi içerisine bırakılacak puzolanın $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oranının en az %70 olması gerekmektedir.
- Puzolanın doğal olarak ince taneli ya da öğütülerek en az çimento tane boyutuna indirilmesi istenmektedir.

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI Muhammed Raşit YALDIZ

Puzolanik katkı miktarı çimentonun %10-%50'si arasında olmalıdır. İstisnai beton imalatlarında bu miktar %50 üzerine çıkabilmektedir [15].

Bağlayıcı malzeme olarak çimento ve mineral katkının beraber kullanıldığı beton ya da harç sisteminde, bağlayıcı malzemenin su ile bir araya gelmesi ile birlikte ilk olarak çimento hidratasyonu meydana gelmektedir. Çimento hidratasyonu ile meydana gelen kalsiyum hidroksit ile öğütülmüş mineral katkı malzemesi tepkimeye girerek hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanır ve kalsiyum-silika-hidrat oluşumunu sağlamaktadır. Katkılı betonlarda, çimento miktarının azalması ile birlikte, beton bünyesinde daha az C₃A bileşeni ve alkali bulunacaktır. Buna bağlı olarak betonun sülfat dayanımı artacak ve alkali-agrega tepkimesinin meydana getireceği genleşme durumu azalmış olacaktır [16].

Mineral katkının ince taneli olması, beton ya da harç sistemi içerisindeki boşluk miktarının az olmasını ve su emme oranını azaltmasını sağlamaktadır. İnce taneli mineral katkıları beton veya harç sistemi içerisindeki suyu kendisine bağlayarak işlenebilirliği arttırmakta ayrıca terleme miktarını azaltmaktadır [16].

Mineral katkıların beton ya da harç sistemine teknik olarak faydası olduğu gibi imalat aşamasındaki maliyet değeri açısından da fayda sağlamaktadır. Genel olarak mineral katkıları doğadan ya da atık olarak alındığı için çimentoya göre daha uygun maliyetler ortaya çıkmaktadır.

2.3.1. Bazalt

Bazalt tabiatta genellikle gri veya siyah renkte bulunan sert ve mukavemetli yapıya sahip, dünya üzerinde yaygın olarak bulunabilen volkanik hareketler sonucu oluşan bir kayaç çeşididir [17]. Türkiye’de Ankara-Kızılcahamam, Manisa, Çorlu, Şanlıurfa, Sivas, Kahramanmaraş, Gaziantep, Elazığ, Afyon, Trakya ve Diyarbakır-Karacadağ bölgelerinde bazalt oluşumları tespit edilmiştir [18].

2.3.1.1. Bazaltın Kullanım Alanları

Tarihi yapılarda yapı malzemesi olarak bol miktarda kullanılan bazalt, günümüzde de geniş kullanım alanlarına sahiptir.

Bazalt fiziksel olarak mukavemetli olduğu gibi kimyasal etkilere karşıda mukavemet göstermektedir. Yapısının kullanışlı olması nedeniyle sanayi ve inşaat sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Bazaltın mukavemetli olması, bünyesinde zararlı kimyasalları bulundurmaması, aşınmaya, kimyasal dış etkilere, dona karşı dayanıklı olması agrega olarak kullanımını sağlamaktadır. Bazalt agrega olarak hem beton içinde kullanılabilmekte hem de kırma taş özelliğine sahip olduğu için gerekli şartlar sağlanarak asfalt yapımında da kullanılabilir. Aşınmaya, asitlere karşı mukavemet sağlaması yüzeyinin iyi cila tutması doğal taş sektöründe de kullanımını sağlamaktadır. Mermer sektöründe kullanılabilir olduğu için kaldırım, yer döşemesi drenaj oluğu olarak kullanılmaktadır. Bazalt yapılan araştırmalarda granüle malzeme olma özelliğini taşıdığı için çatı kaplama malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Bazalt yüksek ergime sıcaklığına sahip olduğu için nükleer reaktörlerde bulunan çimento kalkanlarının imalatında kullanılan, yüksek yoğunluğa sahip harçların üretiminde kullanılmaktadır [18].

2.3.1.2. Bazaltın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Volkanik kökenli olan bazalt, akıcı ve bazik olan lavların soğuması ile 5 ya da 6 kenarlı bloklar halinde katılaşması sonucu oluşmaktadır. Yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. Ergime sıcaklığı 1300-1700 °C'ye kadar ulaşmaktadır. Aynı zamanda bazalt yoğun kayaçlar arasında gösterilmektedir. Mohs sertliği 5-9 arasında değişmektedir [18]. Genel olarak kimyasal ana bileşenleri SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO ve Fe₂O₃'dir. Bazaltın türüne ve bölgesine göre kimyasal bileşenleri farklılık gösterebilmektedir [19]. Yapılan deneysel çalışmalara göre bazaltın diğer kayaçlara göre ısı iletim hızı, termik genleşme katsayısı da düşüktür [20]. Bazaltın su emen bir yapısı yoktur. Dona, darbelere, sürtünmelere ve asitlere karşı yüksek mukavemete sahiptir. Renk değişikliği görülmez, ayrıca aşırı camsı yapısı olmadığı için uzun süre

2. HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞI Muhammed Raşit YALDIZ

yapıda leke ve kılcal çatlaklar görülmemektedir. Bazalt gerek rezerv miktarının fazla olması gerekse mevcut özelliklerinin fayda sağlaması nedeni ile yapılarda ve yapı malzemelerinde yoğun şekilde kullanılmıştır [21].

2.3.2. Profillit

Profillit yumuşak silikat katmanları halinde bir araya gelmiş bir malzemedir. Ülkemizde bilinen tek profillit yatağı Malatya-Pütürge bölgesinde bulunmaktadır. Profillit ülkemizde kısıtlı bölgede çıkarılmasına rağmen çıkarıldığı bölgede geniş rezervlere sahiptir.

2.3.2.1. Profillitin Kullanım Alanları

Profillit kimyasal yapı olarak zengin, sert ve yüksek sıcaklığa karşı mukavemetli olması nedeniyle geniş kullanım alanına sahiptir. Profillit bünyesinde az miktarda demir ve krom bulunması nedeniyle beyaz çimento imalatında kullanılmaktadır. Düşük kalitede olan çeşidinin bile beyaz çimento üretiminde yeterli kaliteyi sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum maliyet açısından profilliti ön plana çıkarmaktadır [22]. Düşük ısı iletkenliği ve genleşme katsayısına sahip olan profillit, yer ve duvar seramiği üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır [23]. Yapılarda kullanılan boyaların yüzeyi daha iyi kapatmasını sağlayan aynı zamanda boyanın akıcılığını engellemesi nedeniyle, boya imalatında hammadde olarak kullanılmaktadır [24].

Profillitin diğer bir kullanım alanı refrakter sanayisidir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip olması nedeniyle, alümina-silis monolitik refrakterlerde, yalıtımı sağlayan ateş tuğlaları ve monolitlerde, döküm potalarının imalatında ve döküm kalıplarının çevrenmesinde değerlendirilmektedir. Profillit ile üretilen refrakter ürünlerinin kullanım ömrü uzamakta, bakım maliyetleri azalmaktadır [25].

2.3.2.2. Profillitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tabiatta nadiren saf halde bulunan profillit çoğunlukla kaolin, kuvars, andaluzit, dijaspor gibi minerallerle bulunabildiği gibi demir içerikli hematit, pirit ve limonit gibi genellikle empüriteleri de bünyesinde bulundurabilmektedir. Mohs sertliği 5-6 civarındadır. Profillitin kimyasal ana bileşenleri SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ’ dir. Profillitin çıkarıldığı alana göre kimyasal bileşenleri farklılık gösterebilmektedir. Profillitin ergime sıcaklığı $1700\text{ }^\circ\text{C}$ seviyelerindedir. Profillitin genleşme katsayısı, sıcak yük deformasyonu, ters termal genleşmesi, termal kondüktivitesi, ısı genleşme katsayısı ve kütle yoğunluğu düşüktür, ısı iletim özelliği yüksektir. Profillitler korozyona karşı dirençlidir [26].

2.3.3. Olivin

Olivin diğer madenlere göre yeni ve fiziksel özelliklerinden dolayı son 30 yıl içerisinde Dünya’da ve Avrupa’da önemli bir mineral haline gelmiştir. Olivin minerali tabiatta fayalit (FeSiO_4) ve forsterit (Mg_2SiO_4) minerallerinin katı çözeltisi halinde bulunmaktadır. Kristal bir yapıya sahiptir [27]. Olivin minerali Dünya’da yüksek rezerv miktarına sahiptir. Olivin Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de geniş rezervlere sahiptir. Türkiye’de Adana-Karsantı, Guleman-Kef, Bursa-Orhaneli, Muğla-Fethiye, Köyceğiz, Beyşehir, Konya-Merem bölgelerinde yüksek miktarda bulunmaktadır [28].

2.3.3.1. Olivinin Kullanım Alanları

Olivin minerali genellikle demir-çelik sanayinde eritici, cüruf düzenleyici ve sinterleşme derecesini azaltan bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Olivinin, başka bir kullanım alanı ise refrakter sanayidir. Yüksek sıcaklık derecelerine dayanıklı olduğu için forsterit tuğla, ateş tuğlası, kimyasal bağlı tuğlalar ve çeşitli refrakter yapı ve malzemelerin imalatında da olivin kullanımı görülmektedir. Son zamanlarda

sağlam yapılı betonlardaki kırılmaları engellemek amacıyla beton üretiminde kullanıma başlanmıştır [27].

2.3.3.2. Olivinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Olivinin kimyasal ana bileşenleri MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 'dir. Olivinin çıkarıldığı bölgeye göre kimyasal bileşenleri farklılık gösterebilmektedir. Mohs sertliği 6.5-7 civarındadır. Olivinin ergime sıcaklığı $1760\text{ }^{\circ}C$ 'dir [29]. Olivin bünyesinde bulunan Fe_2O_3 miktarı olivinin refrakter olma özelliğini negatif yönde etkilemektedir. Olivin bünyesindeki demir oksit SiO_2 'e bağlanırsa fayalit bileşiği meydana gelmektedir. Fayalitin ergime sıcaklığı $1205\text{ }^{\circ}C$ 'dir. Bundan dolayı olivin bünyesindeki fayalit miktarı artarsa, olivinin sıvılaşma sıcaklığı azalmaktadır. Olivin düşük ısı genişlemesine sahiptir. Ayrıca olivin minerali iyi kalsine olduğunda yapısına az miktarda su almaktadır, bu durum yeniden kullanılabilmeyi sağlamaktadır [30].

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Dünya üzerinde var olan tüm yapılar, farklı sebepler nedeniyle yangına maruz kalabilmektedir ve bunun sonucunda belli ölçüde zarar görmekte veya tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bu amaçla yapı malzemelerinin yüksek sıcaklık davranışları üzerine literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Gülce [1], yaptığı çalışmada yüksek sıcaklığa maruz kalan harçların söndürme türüne göre mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini incelemiştir. Harç numunelerini dört tip portland çimentosu kullanarak hazırlamıştır. Hazırlanan numuneler 28 ve 56 günlük kür işleminden sonra 150, 300, 450, 600 ve 900 °C sıcaklıklara kadar ısıtıp, su da ve hava da olmak üzere iki farklı şekilde soğutma işlemi yapmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda yüksek sıcaklık etkisinde harç numunelerin büyük dayanım kaybettiği tespit edilmiştir. Oluşan kayıpların 450 °C ile 900 °C aralığında daha fazla olduğu sonucuna varmıştır.

Kocabeyoğlu [19], harç numunelere bazalt lif ekleyerek yüksek sıcaklığa karşı olan davranışını araştırmıştır. Yaptığı çalışmada kısa olarak eklenen bazalt lifleri % 0, %0.2, %0.4 ve %0.6 miktarında harç numunelere ilave etmiştir. Hazırlanan numuneler normal kür süresinde bekletildikten sonra 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklıklara maruz bırakmış, su da ve hava da olmak üzere iki farklı şekilde soğutmuştur. Numuneler üzerinde kuru birim ağırlık, boşluk oranı, su emme, ultrases geçiş hızı deneylerini uygulamıştır. Mekanik olarak da basınç ve eğilme dayanımı deneylerini uygulamıştır. Yapılan deneyler sonucunda bazalt lif içeren karışımların şahit numunelere göre boşluk oranında ve su emme miktarında artış olduğunu tespit etmiştir. Bazalt lif oranı arttıkça numunelerde ultrases geçiş hızındaki, basınç ve eğilme dayanımındaki azalmanın şahit numunelere göre daha az olduğunu tespit etmiştir.

Baradan ark. [31], yaptıkları çalışmada normal dayanımlı ve polipropilen (PP) ile çelik elyaf katkılı harç numuneler üretmişlerdir. Üretilen harç numuneler 900 °C'ye kadar belirli sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra su ve otoklavla olmak üzere iki farklı şekilde kür edilerek oluşan etkiyi incelemişlerdir. Deneysel çalışmada harç numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimlerini tespit etmişlerdir.

Mikroyapı incelemesini SEM analizi ile yapmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucunda 300 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin dayanımının arttığı, 300 °C üzerindeki sıcaklık değerlerinin etkisinde kalan normal dayanımlı ve PP ile çelik elyaf katkılı yüksek dayanımlı harç numunelerde patlama ve dökülmenin engellendiğini tespit etmişlerdir.

Durmuş [32], portland kompoze ve portland çimentosu ile yapılan harçların yüksek sıcaklıktaki mekanik dayanımlarını yapay sinir ağı ile belirlemeye çalışmıştır. Yaptığı çalışmada harç numuneleri 7, 28 ve 90. günlerde 20, 100, 300, 400, 500, 600, 700 ve 900 °C sıcaklıkta ısıtılarak harçların soğutma işlemi su da ve hava da olmak üzere iki farklı şekilde yapmıştır. Havada soğutulan numunelere özgül ağırlık, dinamik elastisite modülü, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanım, boşluk modülü değerlerini tespit etmiştir. Deney sonucunda yapay sinir ağlarıyla ve istatistiksel olarak incelemiş ve yüksek sıcaklığın harçlar üzerindeki etkisini bulmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda, 300 °C'ye kadar olan basınç dayanımının şahit numunelere göre artış gösterdiği ve bu sıcaklıktan sonra dayanımın sürekli azaldığını tespit etmiştir. Sıcaklık etkisinde kalan harç numunelerinin oda sıcaklığında ve suda soğutulmasında istatistiksel olarak fark olduğu ayrıca yapay sinir ağı ile yapılan değerlendirmede en çok %8 hata payı ile basınç ve eğilme dayanımının olabileceğini tespit etmiştir.

Sevinç [33], ince agrega ve çimento yerine kolemanit, barit, pomza ve yüksek fırın cürufunu farklı oranlarda kullanmıştır. Basınç ve eğilme deneyinin oluşturduğu mekanik etkileri 7, 28, 180 günlük numuneler üzerinde incelemiştir. Kimyasal etkiyi görmek için numuneler %5 Sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisi içerisinde 180 ve 360 gün bekletip gözlem yapmıştır. Ayrıca 12*12*2 cm olarak üretilen numuneler üzerinde radyasyon geçirimsizliğinin tespiti için Am 241 gama ışını uygulamıştır. Sonuç olarak beton ve çimentonun özelliklerini geliştirebilmek için kolemanitin katkı olarak bırakılabileceği fakat kolemanit katkılı harçların radyasyona karşı lineer soğurma değeri düşük değerlere sahip olduğunu tespit etmiştir. Harçlarda kullanılan barit katkısının ise lineer soğurma değerinin yüksek olduğunu bulmuştur. Katkı olarak pomza ve cürufun kullanılması ise radyasyon soğurmada yüksek olduğunu

tespit etmiştir. Bu sonuçlara göre radyasyon etkisini azaltmak için üretilecek beton duvarın zırhlama kalınlığı şahit numuneye göre azalacağını tespit etmiştir.

Kaya [34], yaptığı çalışmada farklı miktarda silis dumanı ile genişletilmiş vermikülit içeren harçların yüksek sıcaklık etkisinde mekanik özelliklerini incelemiştir. Üç farklı çimento-vermikülit miktarına sahip karışımlara çimentonun %5, %10, %15'i oranında silis dumanı ekleyerek numuneler hazırlamıştır. Hazırlanan numuneler 300 °C, 600 °C, 900 °C sıcaklıklarında bekletildikten sonra eğilme, basınç ve ultrases geçiş hızı deneylerini uygulamıştır. Deney sonucunda silis dumanı içeren numuneler, silis dumanı içermeyen şahit numunelere göre basınç dayanımlarının yüksek, eğilme dayanımlarının ve ultrases geçiş hızlarının ise düşük olduğunu tespit etmiştir.

Teker [35], yüksek sıcaklık etkisi altında kalan harç numunelerine polimer lif katkısı ekleyerek çimento harcının mekanik özelliklerinin değişimini araştırmıştır. Buna bağlı olarak mekanik özelliği iyileştirmeye yönelik uygun lif boyutunu da tespit etmeye çalışmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşturulmuştur. İlk aşamada lif miktarı %2 hacim miktarında ve karbon lif miktarı sabit tutularak dört farklı ölçüdeki 5 mm, 10 mm, 15 mm ve 20 mm lif kullanılarak çimento hamurunun mekanik özelliklerini arttıran uygun lif ölçüsünü bulmuştur. İkinci aşamada lif boyu 10 mm olarak sabit olan üç farklı tipteki polimer lif, beş farklı miktarda %0.0, %0.3, %0.6, %0.9 ve %1.2 çimento harcına katılarak, DYK ve EK durumdaki numunelerin mekanik özelliklerini gözlemlemiştir. Üçüncü aşamada ise lif boyu 10 mm sabit olan üç farklı tipteki polimer lif, beş farklı miktarda %0.0, %0.3, %0.6, %0.9 ve %1.2 çimento harcına eklenerek, beş farklı sıcaklığa 21 °C, 100 °C, 450 °C, 650 °C ve 850 °C sıcaklıkta bekletilmiş ve numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmiştir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre; en uygun harç numunesine 20 mm boyundaki karbon lifin çimento harcına eklenmesiyle ulaşmıştır. Çalışmada aramid lif eklenen polimer lifler içerisinde en iyi sonucu veren lif türü olmuştur. EK en iyi mekanik sonucu polimer lif katkısı durumunda tespit etmiştir. 450 °C sıcaklık değerine kadar liflerin dayanımı yükselttiği tespit edilmiş ve eğilme dayanımına destek sağlamıştır. Yüksek sıcaklık etkisinde, farklı tip lifler en iyi başarıyı farklı katkı miktarında gösterdiğini tespit etmiştir. Sıcaklık değerleri için, eğilme dayanımındaki en yüksek

artış ve basınç dayanımındaki en düşük azalış HPP için %0.3-0.9 lif katkı miktarında, CPP için %0.3-0.6 lif katkı miktarında ve AR için %0.9 lif katkı miktarında tespit etmiştir.

Gökçer [36], yaptığı çalışmada 0.25, 0.50, 0.75, ve 1 kg/m³ miktarında cam elyaf ve filler malzeme yerine hacimce %10, %20, %30, %40, %50 miktarında mermer tozu eklenerek harç numuneler üretmiştir. Oluşturulan numunelere kılcal su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulamıştır. SEM analizi ile numuneleri incelemiştir. Deney sonucunda mermer tozunun artırılmasıyla lif takviyeli harç numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımı ile ultrases geçiş hızı sonuçlarında yükselme olduğu, kılcal su emme değeri ile porozitede ise düşüş olduğunu tespit etmiştir. Cam lifin artması ile numunelerde kılcal su emme, porozite ve eğilmede çekme dayanımı sonuçlarında artma, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı sonuçlarında ise azalma olduğunu tespit etmiştir.

Karagöz [37], yaptığı çalışmada katkılı harç numuneleri yüksek sıcaklığa maruz bırakmıştır. Mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu, uçucu kül, tuğla tozu, silis dumanı, kırma-taş tozu kullanmıştır. Kullanılan katkıları çimentonun %0, %10, %20, %30'u yerine eklemiştir. Mekanik özelliklerin tespitinde eğilme ve basınç dayanımı, fiziksel özelliklerin tespitinde birim hacim ağırlık, görünen porozite ve su emme, ısı performansında ise ısı genleşme değerlerini hesaplamıştır. Deney sonucunda yüksek sıcaklık etkisinde kalan yapıların betonlarında kireçtaşı içerikli agregaların kullanılması sonucunda betonarme yapıların 800 °C'ye kadar deforme olması çoğunluk olarak önlenmiş olduğunu tespit etmiştir.

Koç [38], sekiz farklı çimento ile harç numuneleri üretmiştir. Üretilen numunelere 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda 20 °C, 150 °C, 300 °C, 500 °C ve 700 °C yüksek sıcaklık uygulamıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler havada ve suda soğutma olmak üzere iki farklı şekilde soğutma işlemi uygulanmıştır. Numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme ve basınç deneylerinde dayanımın 150 °C'ye kadar artış gösterdiği daha sonra ki sıcaklıklarda ise düştüğünü tespit etmiştir. Soğutma tipine göre karşılaştırılma yapıldığında ise suda soğutma yönteminin dayanımı daha fazla düşürdüğünü tespit

etmiştir. Çimento ve kür süresinin farklılığı da dayanım üzerinde değişkenlik gösterdiği sonucuna varmıştır.

Kaya [39], yaptığı çalışmada betonun mekanik ve fiziksel özelliğini geliştirebilmek için harç numuneler üzerinde polimer katkı kullanmıştır. 3 farklı polimer (SBR, PÜ, MAD) tipi, değişik oranlarda katılarak harç numuneler hazırlamıştır. Hazırlanan harç numunelerine 3 farklı kür yöntemi uygulamıştır. Uygulanan kür yöntemleri 28 gün boyunca devam etmiştir. Kür işleminden sonra numuneler 4 farklı sıcaklığa (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C), 1 saat boyunca maruz bırakmıştır. Yapılan deneyler sonucunda polimer katkının su emme oranını ve su işleme derinliğini düşürdüğünü tespit etmiştir. Genel olarak polimer katkının harç numunelerin basınç dayanımını düşürdüğünü, eğilme dayanımını ve yüksek sıcaklık dayanımını arttırdığını tespit etmiştir. SBR ve MAD polimerinin çalışmada olumlu sonuç, PÜ polimerinin ise olumsuz sonuç gösterdiğini tespit etmiştir. En yüksek sıcaklık değerinde en iyi performansı SBR polimerinin verdiği sonucuna ulaşmıştır.

Nazlı [40], yaptığı çalışmada hazırlanan numunelerdeki ince agregalardan belli oranlarda çıkararak yerine genişletilmiş vermiculit eklemiştir. Harç numunelerine %0, %15, %30 ve %45 oranlarda genişletilmiş vermiculit tozunu, ince agrega ile yer değiştirilecek şekilde eklemiştir. Hazırladığı numunelerde portland ve kalsiyum alüminatlı olmak üzere iki farklı çimento tipi kullanmıştır. Numunelerine standart kür uygulandıktan sonra 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklıklarda bekletmiştir. Yaptığı çalışmada numunelere birim hacim ağırlık, su emme, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri uygulamıştır. Yaptığı deney sonucunda, yüksek sıcaklık karşısında genişletilmiş vermiculit tozunun, portland veya alüminatlı çimento ile birlikte kullanılabileceği, yangına karşı dayanıklı çimento esaslı kompozit malzemesi üretilabileceği ve ısı yalıtım sıvalarında ince malzeme olarak kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Yıldırım [41], bazalt, çelik lif ve silis dumanı içeren harç numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Harç numunelerine %0, %10 ve %20 silis dumanı, %0.25, %0.50, %0.75 çelik lif ve %0.3, %0.6, %0.9 bazalt lif ilave etmiştir. Numuneler üzerine mekanik ve fiziksel testler uygulamıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda silis dumanı, bazalt, çelik lif miktarı yükseldikçe su emme ve porozite

oranının düştüğünü tespit etmiştir. Çelik lif ve bazalt lif oranının artmasıyla eğilme dayanımının yükseldiğini tespit etmiştir. Silis dumanı, çelik lif, bazalt lif miktarı yükseldikçe basınç dayanımının arttığını tespit etmiştir. Silis dumanı, çelik lif ve bazalt lifin birlikte kullanılması çoğu testten olumlu sonuç alınmasını sağlamıştır.

Toprak [42], yaptığı çalışmada kendinden yerleşen betonlara mineral katkı maddesi ekleyerek numunelerin dayanım ve durabilite davranışlarını incelemiştir. Yaptığı çalışmada en büyük ince agrega tane boyutu 2-4 mm dere kumu kullanmıştır. Mineral katkı olarak öğütülmüş genleştirilmiş vermikülit %5, %10, %15 ve %20 miktarında çimento yerine eklemiştir. Ham vermikülit %5, %10, %15 ve %20 miktarında çimento yerine, %10, %20, %30 ve %40 miktarında ise ince agrega yerine eklemiştir. KYH numunelerinin taze durumdaki özelliklerini tespit etmek için mini çökme-yayılma ve viskozimetre deneyleri uygulamıştır. KYH numunelerin sertleşmiş durumdaki özelliklerini tespit etmek için eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık deneylerini uygulamıştır. Küp numunelere ise yoğunluk, porozite, toplam su emme ve kılcal su emme deneyleri uygulamıştır. Yaptığı deneylerin sonuçlarına göre mineral katkı eklenen KYH numunelerin taze durumdaki özellikleri kendiliğinden yerleşebilme durumunu sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Genleştirilmiş vermikülit katkısının eklenmesi su emme oranını arttırırken mekanik özelliklerini azalttığını tespit etmiştir. Kullanılan mineral katkı maddesinin çeşit ve miktarı yüksek sıcaklık dayanımını etkilediğini belirtmiştir.

4. MATERYAL ve YÖNTEM**4.1. Materyal****4.1.1. Çimento**

Yapılan deneysel çalışmada harç sistemi içerisinde bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [43] standardı ile uyumlu CEM II 42.5 R tipli çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (g/cm^3)		3.00-3.05
Priz Süresi	(dakika)	Min 60
İncelik	Özgül Yüzey (cm^2/g)	4300-4900

4.1.2. Bazalt

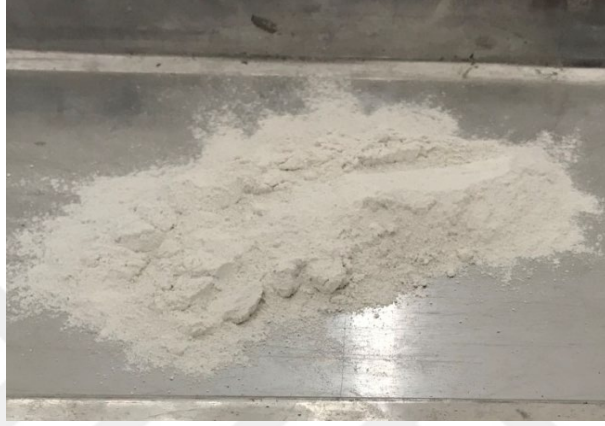
Deneysel çalışmada Resim 4.1’de gösterilen Diyarbakır-Karacadağ bölgesinden temin edilmiş olan bazalt, öğütülerek mineral katkı olarak kullanılmıştır. Bazalt mineralinin özgül ağırlığı $2.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ ‘dür.



Resim 4.1 Öğütülmüş bazalt

4.1.3. Profillit

Deneyisel çalışmada Resim 4.2’de gösterilen Malatya-Pütürge bölgesinden temin edilmiş olan profillit, öğütülerek mineral katkı olarak kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2.8-2.9 g/cm³ arasındadır.



Resim 4.2 Öğütülmüş profillit

4.1.4. Olivin

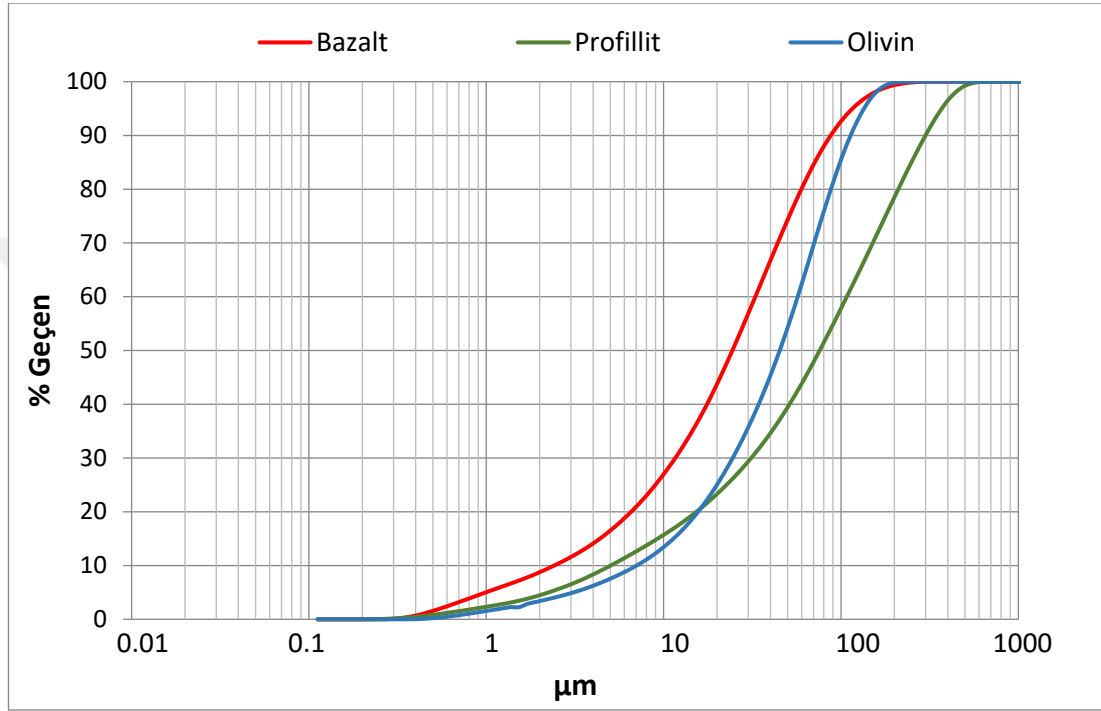
Deneyisel çalışmada Resim 4.3’de gösterilen, Muğla-Fethiye bölgesinden temin edilmiş olan olivin, öğütülerek mineral katkı olarak kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 3.3-3.4 g/cm³ arasındadır.



Resim 4.3 Öğütülmüş olivin

4.1.5. Lazer Tane Boyut Analizi

Harç sistemi içerisinde kullanılan bazalt, profillit ve olivin minerallerinin tane boyutunu belirleyebilmek için lazer tane boyut analizi yapılmıştır. Lazer tane boyut analizi grafiği Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Lazer tane boyut analizi grafiği

Lazer tane boyut analizi sonrasında ki boyut değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Lazer tane boyut analizi değerleri

Dane Çapı (µm)	Bazalt	Profillit	Olivin
D₁₀	2.704	5.639	7.894
D₅₀	27.37	85.03	50.58
D₉₀	98.35	336.4	127.1

4.2. Yöntem**4.2.1. Harç****4.2.1.1. Harç İçeriği**

Harç sistemi hazırlanırken numuneler TS EN 196-1 [44] standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Harç sistemi içerisinde çimento, kum, su ve mineral katkı kullanılmıştır. Mineral katkı olarak bazalt, profillit ve olivin ortalama çimento tane boyutuna kadar öğütüldükten sonra kullanılmıştır.

Numune üretimleri TS EN 196-1’de [44] verilen karışım oranları dikkate alınarak 450 g çimento, 225 g su, 1350 g kum olacak şekilde hazırlanmıştır. Su olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Katkılı numuneler hazırlanırken mineral katkı, çimento ile %10, %20, %30 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 4.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.3 Harç sistemindeki malzeme miktarları (g)

SERİ	SERİ ADI	KUM (g)	ÇİMENTO (g)	SU (g)	BAZALT (g)	OLİVİN (g)	PROFİLLİT (g)
Ş	Şahit	1350	450	225	-	-	-
B10	%10 Bazalt	1350	405	225	45	-	-
B20	%20 Bazalt	1350	360	225	90	-	-
B30	%30 Bazalt	1350	315	225	135	-	-
P10	%10 Profillit	1350	405	225	-	-	45
P20	%20 Profillit	1350	360	225	-	-	90
P30	%30 Profillit	1350	315	225	-	-	135
O10	%10 Olivin	1350	405	225	-	45	-
O20	%20 Olivin	1350	360	225	-	90	-
O30	%30 Olivin	1350	315	225	-	135	-

4.2.1.2. Deney Numunelerinin Üretimi

Harç numuneler, TS EN 196-1 [44] standardına uygun olarak Resim 4.4’de gösterilen standart harç mikseri kullanılarak hazırlanmıştır.

- Karıştırma haznesine su, çimento ve katkı numuneler için mineral katkı bırakılmıştır.
- Hazneye eklenen malzemeler düşük hızda 30 sn boyunca mikser yardımıyla karıştırıldı. Mikserin çalışması durdurulmadan ikinci 30 sn boyunca ince agrega yavaş yavaş ilave edildi. Üçüncü 30 sn’ye geçildikten sonra mikser yüksek hıza getirilerek, tüm malzemeler birlikte karıştırılmıştır.

- İlk 90 sn'lik aşama sonunda mikser durdurularak, karıştırma kabı etrafına yayılan malzeme kap ortasına getirilmiştir.
- İkinci aşamada haznede bulunan malzemeye, yüksek hızda 1 dk boyunca karıştırma işlemi tekrar uygulanarak harç karışımı hazır hale getirilmiştir.



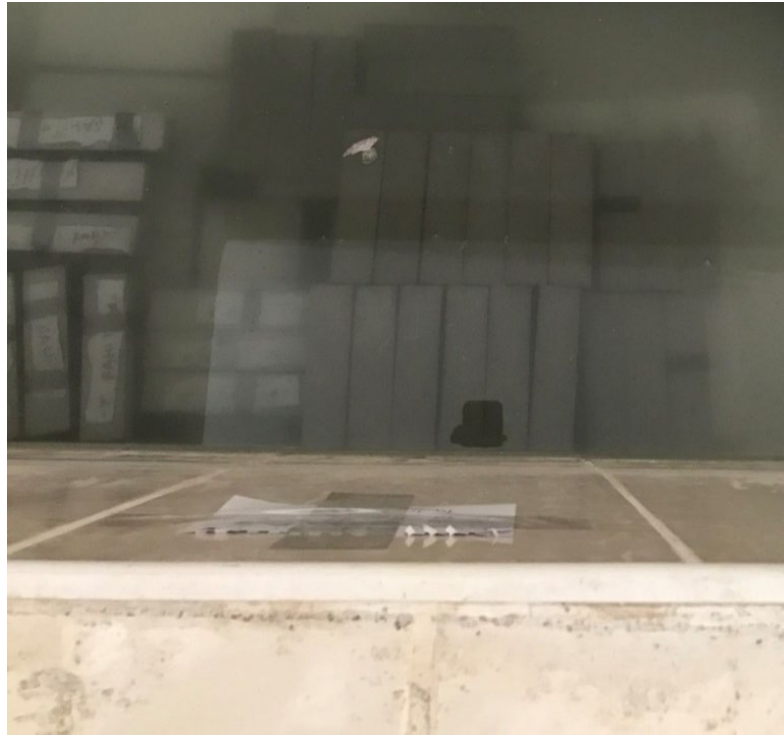
Resim 4.4 Harç mikseri

Mikserde hazırlanan numuneler standarda uygun olan, Resim 4.5’de gösterilen 40*40*160 mm boyutlara sahip kalıba uygun bir araç yardımı ile yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi sarsma tablası üzerinde kademeli olarak gerçekleştirilmiş, her kademedede sarsma işlemi uygulanarak yerleştirme işlemi tamamlanmıştır.



Resim 4.5 Kalıplara yerleştirilen numuneler

Numuneler 24 saat boyunca kalıpta bekletildikten sonra, standarda uygun şekilde sıcaklığı 20 ± 2 °C olan kür havuzunda 28 gün boyunca bekletilmiştir (Resim 4.6).



Resim 4.6 Numunelere kür uygulanması

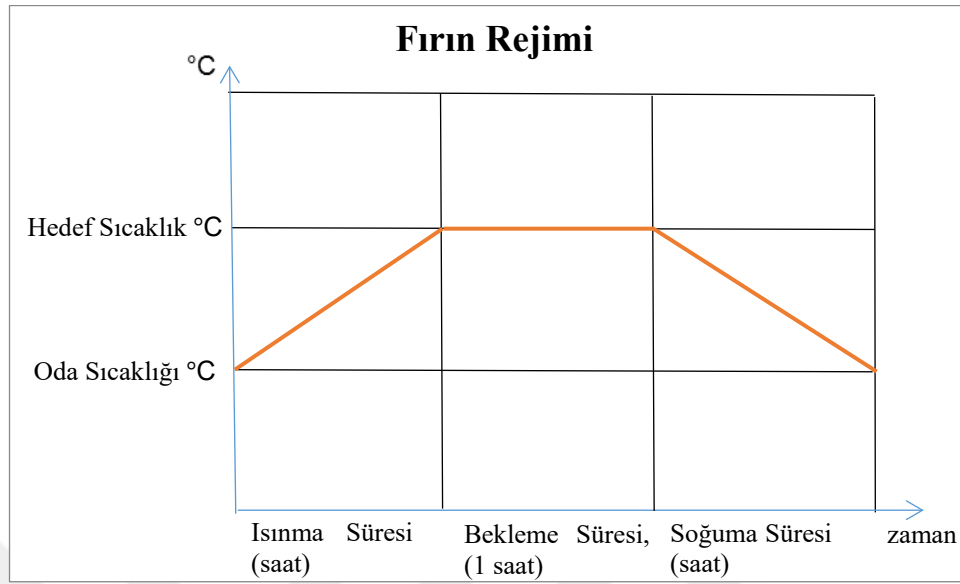
4.2.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulaması

Harç numuneleri 28 günlük kür uygulamasına tabii tutulduktan sonra yüksek sıcaklık davranışının belirlenebilmesi amacıyla, ısınma hızı 4 °C/dakika olan fırında şahit numuneler dışında (20 °C), diğer numuneler 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C ve 900 °C sıcaklık değerlerine kadar ısıtılarak, bu sıcaklık değerlerinde bir saat bekletilmişlerdir (Resim 4.7). Numuneler belirlenen sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra, laboratuvar sıcaklığına kadar fırın içerisinde kendiliğinden soğutulmaya bırakılmıştır. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla birim hacim ağırlık, görünür porozite, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, nokta yük dayanım indeksi deneyleri ve taguchi optimizasyon yöntemi uygulanmıştır.



Resim 4.7 Yüksek sıcaklık uygulaması

Numuneler üzerinde uygulanan yüksek sıcaklık uygulaması Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Yüksek sıcaklık uygulama grafiği

4.2.2. Uygulanan Deneyler

4.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Numunelerin birim hacim ağırlık ölçümleri TS EN 12390-7 [45] standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Birim hacim ağırlık ölçümleri fırın öncesi ve fırın sonrası olarak gerçekleştirilmiştir. Birim hacim ağırlık bulguları, (4.1) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\gamma = \frac{W}{v} \quad (4.1)$$

Burada;

γ = Birim hacim ağırlık (g/cm^3)

W = Harç numune ağırlığı (g)

v = Harç numune hacmi (cm^3)

4.2.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi hasarsız deney uygulamalarından biridir. Ultrasonik cihaza bağlı olan dalga gönderici başlık ile malzeme yüzeyine sesüstü dalgalar gönderilir, ses dalgası karşı yüzeyde bulunan dalga alıcı başlık ile geri alınmaktadır. Ultrases cihazı ile ses dalgasının iki yüzey arasında kaç saniyede geçtiği tespit edilmektedir. Yüzeylerdeki boşlukların sonucu olumsuz yönde etkilememesi için, yüzeylere jel sürülerek yüzey boşlukları doldurulmaktadır. Sesüstü dalga hızı (4.2) denklemi ile hesaplanmaktadır [46].

$$V = (L/t) \quad (4.2)$$

Burada;

V = Sesüstü dalga hızı, km/sn

L = İki başlık arasındaki beton yüzeyinin km cinsinden uzunluğu,

t = İki başlık arasında ses dalgasının geçtiği süre (saniye) dir.

4.2.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Harç numuneler üzerinde TS EN 196-1 [44] standardına uygun şekilde eğilme dayanımı deneyi uygulanmıştır (Resim 4.8).

Eğilme dayanımı TS EN 196-1 [34] standardında verilen (4.3) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$R_f = \frac{1.5 \times F \times l}{b^3} \quad (4.3)$$

Burada;

R_f = Eğilme dayanımı (Newton/mm²),

b = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F = Prizmanın kırılma anında ortasına uygulanan kuvvet (Newton),

L = Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm) dır.



Resim 4.8 Eğilme dayanımı cihazı

4.2.2.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Harç numuneler üzerinde TS EN 196-1 [44] standardına uygun şekilde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Eğilme deneyi sonrasında, iki ayrı prizma haline gelen numunelerin yan yüzeylerine 40*40 mm'lik çelik başlık bırakılarak, Resim 4.9'da gösterildiği gibi tek eksenli basınç yükü uygulanmıştır.

Basınç dayanımı TS EN 196-1 standardında verilen (4.4) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$R_f = \frac{P}{A} \quad (4.4)$$

Burada ;

R_f = Basınç dayanımı (N/mm²),

P = Kırılmadaki en büyük yük (N),

A = Yük uygulanan yüzey alanı (mm²).



Resim 4.9 Basınç dayanımı cihazı

4.2.2.5. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deneyi

Nokta yük dayanım deneyi kayaçların dayanımlarını tespit edebilmek amacıyla kullanılan bir deney yöntemidir. Numuneler üzerinde tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi parametrelerin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Çalışmamızda nokta yük dayanım deneyi yöntemi harç numuneler üzerinde uygulanmıştır. Nokta yük dayanım deneyi;

- Çapsal deney (karot eksenine göre dik yönde yükleme)
- Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme)
- Blok ve düzensiz örneklerle deney olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir [47].

Numunelerimiz deney içerisindeki, blok ve düzensiz örneklerle deney yöntemi içerisine girmektedir. Eğilme deneyimiz sonucunda elde edilen iki ayrı numune parçasından bir tanesine basınç deneyi uygulanmıştır. Diğer parça, yüzeyleri düz hale getirilerek nokta yük deneyine tabi tutulmuştur.

Blok ve düzensiz örneklerle deney standartlarına uygun şekilde $50 \text{ mm} \pm 35 \text{ mm}$ ölçülerine sahip numuneler kullanılmalıdır. Blok ve düzensiz numunelerde kalınlığın genişliğe oranı 0.3-1 arasında olmalıdır. Numunenin uç kısmından

yüklemeye noktasında kadar olan mesafe minimum kalınlığın yarısı kadar olmalıdır [47].

Standartlara uygun blok numuneler Resim 4.10'da gösterilen deney cihazı üzerinde bulunan iki konik başlık arasına bırakılarak, cihaz üzerindeki kol ile manuel olarak dik ekseninde yük uygulanmaktadır. Uygulanan maksimum yük sonucunda, numunenin kırılmasını sağlayan yük kaydedilmektedir [47].

Nokta yük dayanım deneyi sonuçları (4.5), (4.6), (4.7), (4.8), (4.9) denklemleri yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (4.5)$$

$$De^2 = D^2 \quad (4.6)$$

$$De^2 = \frac{4 \times A}{\pi} \quad (4.7)$$

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (4.8)$$

$$I_{s(50)} = F * I_s \quad (4.9)$$

Burada;

I_s = Düzeltilmiş nokta yük dayanımı (MPa),

P = Yenilme yükü (N),

De = Eşdeğer karot çapıdır (mm),

D = Karot çapıdır (mm),

A = Konik başlıkların temas noktalarından geçen kesit alanı,

F = Düzeltme faktörü,

$I_{s(50)}$ = 50 mm'lik çapa göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (MPa).



Resim 4.10 Nokta yük dayanım deneyi cihazı

4.2.2.6. Görünür Porozite Deneyi

TS EN 772-4 [48] standardına uygun olarak görünür porozite deneyi yapılmıştır. Görünür porozite deneyinde 40*40*h mm'lik numuneler kullanılmıştır. Hassas ölçüm için kullanılan numunelerin yükseklikleri ayrı ayrı ölçülmektedir. Numunelerin etüv kurusu ağırlığını tespit edebilmek için, 24 saat boyunca etüv fırınında 100-110 °C'de bekletilmektedir. Etüvden çıkarılan numuneler 24 saat suda bekletilerek, suya doymun hale getirilmektedir (Resim 4.11).

Görünür porozite deneyi sonuçları (4.10) denklemi yardımı ile hesaplanmıştır.

$$P_g = \frac{G_d - G_k}{V} \times 100 \quad (4.10)$$

Burada;

P_g = Numunenin görünür porozitesi (%),

G_d = Numunenin doymun haldeki ağırlığı (g),

G_k = Kurutulmuş numunenin ağırlığı (g),

V = Numune hacmi.



Resim 4.11 Görünür porozite deneyi

4.2.2.7. Taguchi Optimizasyon Yöntemi

Taguchi yöntemi, deneysel planlamanın oluşturulmasına yardımcı olmakla birlikte deneysel sürecin verimliliğinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Taguchi optimizasyon yöntemi sınırlı sayıda deneylerden elde edilen verilerden tüm tasarım optimizasyonunu belirlemeye yardımcı olur. Bu durum, ortogonal diziler (OA) ve sinyal-gürültü (S/N) oranları kullanılarak gerçekleştirilir [49,50].

Taguchi yönteminde S/N oranlarını analiz etmek için üç metot kullanılır. Bunlar; “en iyi nominal”, “daha büyük-daha iyi” ve “daha küçük-daha iyi” şeklindedir.

S/N oranının “en iyi nominal” çözümü denklem (4.11)’de verilmiştir.

$$n_{ij} = 10 \log \left(\frac{\overline{y_{ij}}^2}{s^2} \right) \quad (4.11)$$

S/N oranının “daha büyük-daha iyi” çözümü denklem (4.12)’de verilmiştir.

$$n_{ij} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_{ij}^2} \right) \quad (4.12)$$

S/N oranının “daha küçük-daha iyi” çözümü denklem (4.13)’de verilmiştir.

$$n_{ij} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum y_{ij}^2 \right) \quad (4.13)$$

Denklemlerde;

n_{ij} : S/N oranı,

y_{ij} : Her tasarım parametresinin performans değeri,

n : Tasarım parametresi,

$\overline{y_{ij}}$: Ortalama performans,

s^2 : Performansın varyansıdır.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1. Birim Hacim Ağırlık Bulguları

Bu kısımda deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin, birim hacim ağırlık deneyi bulguları verilmiştir. Sonuçlar 3 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Harç sisteminde %10, %20, %30 oranında kullanılan bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin ve şahit numunelerin 28 günlük birim hacim ağırlık bulguları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Sıcaklık öncesi ve sonrası birim hacim ağırlık deney sonuçları

g/cm ³	20 °C	200 °C	20 °C	300 °C	20 °C	500 °C	20 °C	700 °C	20 °C	900 °C
ŞAHİT	2.32	2.21	2.33	2.11	2.32	2.06	2.34	2.00	2.32	1.89
B10	2.37	2.25	2.35	2.13	2.34	2.09	2.9	1.96	2.32	1.91
B20	2.34	2.21	2.27	2.04	2.31	2.06	2.32	2.01	2.32	1.93
B30	2.33	2.19	2.34	2.12	2.32	2.07	2.24	1.95	2.32	1.95
P10	2.32	2.11	2.34	2.11	2.31	2.05	2.29	1.96	2.33	1.90
P20	2.28	2.10	2.28	2.05	2.25	2.00	2.72	1.95	2.26	1.83
P30	2.28	2.08	2.28	2.04	2.26	1.98	2.33	2.01	2.22	1.82
O10	2.38	2.25	2.27	2.06	2.33	2.07	2.38	2.06	2.32	1.92
O20	2.34	2.23	2.36	2.14	2.37	2.10	2.39	2.07	2.40	1.98
O30	2.36	2.26	2.33	2.12	2.34	2.08	2.36	2.04	2.31	1.94

Deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde, uygulanan sıcaklık değerinin yükselmesiyle birlikte numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinde azalış tespit edilmiştir. Şahit numunelerin birim hacim ağırlık sonuçları 2.32 ile 2.37 g/cm³ değerleri arasındadır. Katkılı numuneler içerisinde en iyi sonucu genel olarak %10 katkılı numunelerin gösterdiği tespit edilmiştir. Katkılı numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinin birbirine yakın olması ile beraber, en az kayıp bazalt ve olivin katkılı numunelerde görülmektedir. En yüksek sonuçları 2.25 g/cm³ değeri ile 200 °C sıcaklığa maruz bırakılan %10 bazalt ve %30 olivin katkılı numuneler göstermiştir. En düşük sonucu ise 1.82 g/cm³ değeri ile 900 °C sıcaklığa maruz bırakılan %30 profillit katkılı numuneler göstermiştir. Katkı miktarının ve sıcaklık değerlerinin artışı birim hacim ağırlık kaybının artmasına neden olmuştur. Birim hacim ağırlık

kaybının 500, 700 ve 900 °C derece sıcaklıklarda daha fazla arttığı görülmektedir. Her sıcaklık değerinde şahit numuneler ile katkılı numuneler karşılaştırıldığında, genel olarak sadece %10 bazalt katkılı numuneler, katkısız şahit numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Belirtilen durum dışında tüm sıcaklıklarda katkısız şahit numuneler daha iyi performans göstermişlerdir.

Dündar ark. [51], Kaya [34], Karagöz [37] ve Gökçer [36] yaptıkları çalışmalarda, harç numunelerinde kullandıkları mineral katkı ve sıcaklık oranının artışına bağlı olarak birim hacim ağırlık değerlerinde azalış tespit etmişlerdir. Elde edilen veriler literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Harç numunelerin üzerinde uygulanan sıcaklık etkisinin artması ile birlikte numunelerde hacim artışı meydana gelmektedir. Harç sistemi içerisindeki mevcut su ise sıcaklık etkisi ile buharlaşarak ağırlık kaybına neden olmaktadır. Oluşan hacim artışı ve su kaybı birim hacim ağırlık sonuçlarını negatif yönde etkilediği düşünülmektedir [52].

5.2. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları

Bu kısımda deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin, ultrases geçiş hızı deneyi bulguları verilmiştir. Ultrases geçiş hızı deneyi ile yüksek sıcaklık etkisinin harç numuneler içerisinde oluşturduğu, boşluk yapısı hakkında değerlendirme yapılabilmektedir. Sonuçlar 3 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Harç sisteminde %10, %20, %30 oranında kullanılan bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin ve şahit numunelerin 28 günlük ultrases geçiş hızı bulguları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Sıcaklık öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları

km/sn	20 °C	200 °C	20 °C	300 °C	20 °C	500 °C	20 °C	700 °C	20 °C	900 °C
ŞAHİT	4.24	3.78	4.27	3.67	4.26	2.94	4.24	1.76	4.24	1.33
B10	4.27	3.75	4.25	3.72	4.24	2.84	4.24	1.74	4.20	1.28
B20	4.12	3.46	4.11	3.32	4.07	2.63	4.17	1.73	4.13	1.21
B30	4.01	3.39	4.09	3.08	3.98	2.52	4.00	1.73	4.03	1.18
P10	4.17	3.53	4.19	3.38	4.16	2.51	4.12	1.65	4.16	1.25
P20	3.91	3.27	3.92	3.24	4.05	2.51	3.99	1.56	3.94	1.16
P30	3.88	3.15	3.94	3.07	3.88	2.21	3.86	1.50	3.92	1.11
O10	4.23	3.71	4.23	3.41	4.2	2.59	4.2	1.77	4.20	1.25
O20	4.09	3.69	3.97	3.27	4.14	2.56	4.05	1.64	4.01	1.17
O30	4.00	3.56	3.96	3.18	3.97	2.42	3.95	1.59	4.00	1.09

Bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin, yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı sonuçları incelendiğinde sonuçların negatif yönde değiştiği görülmektedir. Katkılı numuneler arasında en iyi performansı %10 katkılı numunelerin gösterdiği tespit edilmiştir. Katkı miktarının artışı ultrases geçiş hızı deneyinde, numune performansını negatif yönde etkilemiştir. Katkı oranı %10 ve %20 olan numuneler arasında en iyi performansı bazalt sonrasında olivin ve profillit göstermektedir. Katkı oranı %30 olan numunelerde 200 ve 300 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler içinde en iyi sonucu olivin sonraki sıcaklıklarda bazalt göstermektedir. Tüm sıcaklık değerlerinde katkılı ve katkısız şahit numuneler ile katkılı numuneler karşılaştırıldığında, katkısız ve katkılı şahit numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Kaya [34], Nazlı [40] ve Uçarkoşar [53] yaptıkları çalışmalarda, harç numunelerinde kullandıkları mineral katkı ve sıcaklık oranının artışına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinde azalış tespit etmişlerdir. Elde edilen veriler literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Harç sistemi içerisinde mevcut kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisi ile CSH jellerinin yapısı değişmektedir. Bu değişimin sonucunda harç sisteminin yapısında bozulmalar meydana gelmekte ve kılcal çatlaklar büyüyerek daha büyük boşlukların oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan boşluklu yapıdan dolayı ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3 Eğilme dayanımı deney sonuçları

N/mm ²	20 °C	200 °C	300 °C	500 °C	700 °C	900 °C
ŞAHİT	10.80	10.28	11.76	7.20	3.48	1.66
B10	9.48	9.87	11.73	7.51	3.36	1.77
B20	9.23	9.02	8.85	5.74	3.22	1.41
B30	7.52	8.30	8.58	4.81	3.05	1.69
P10	9.70	9.90	10.30	5.44	3.02	1.65
P20	7.98	8.24	8.66	4.74	2.55	1.30
P30	7.85	7.34	6.99	3.73	2.41	1.36
O10	9.90	8.39	9.71	5.86	3.85	1.45
O20	9.00	7.39	7.59	5.58	3.03	1.86
O30	7.73	7.03	6.73	5.05	3.10	1.79

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan katkılı numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde, 900 °C'ye maruz kalan olivin katkılı numuneler hariç, en iyi performansı %10 katkılı numunelerin gösterdiği görülmüştür. Katkı miktarı artışının, eğilme dayanımının düşmesine neden olduğu görülmüştür. Katkılı numuneler içerisinde 200 ve 300 °C sıcaklığa maruz bırakılan %10 ve %30 bazalt katkılı numunelerin, katkılı şahit numunelere göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. %10 ve %20 profillit katkılı numuneler 200 °C ve 300 °C sıcaklıkta, katkılı şahit numunelere göre daha iyi dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı durum olivin katkılı numunelerde ise görülmemektedir. Belirtilen sıcaklık değerleri dışında katkısız şahit numunelerin, mineral katkılı numunelere göre daha iyi dayanım sağladığı görülmektedir. Sıcaklık etkisinde kalan katkılı numuneler arasında 500 °C sıcaklığa kadar en iyi performansı bazalt sonra profillit ve olivin göstermektedir. 500 °C ve sonraki sıcaklıklarda genel olarak en iyi performansı bazalt sonra olivin ve profillitin gösterdiği tespit edilmiştir. Katkısız şahit numuneler tüm sıcaklıklarda katkılı numunelere göre daha iyi sonuçlar vermişlerdir.

Nazlı [40], Kaya [34], Dündar ark. [48] ve Subaşı ark. [49] yaptıkları çalışmalarda, harç numunelerinde kullandıkları mineral katkı ve sıcaklık oranının artışına bağlı olarak eğilme dayanımı değerlerinde azalış tespit etmişlerdir. Elde edilen veriler literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Basınç dayanımı uygulaması Resim 5.2’de gösterilmiştir. Harç sisteminde %10, %20, %30 oranında kullanılan bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin ve şahit numunelerin 28 günlük basınç dayanımı bulguları Çizelge 5.4’de verilmiştir.



Resim 5.2 Basınç dayanımı uygulaması

Çizelge 5.4 Basınç dayanımı deney sonuçları

N/mm ²	20 °C	200 °C	300 °C	500 °C	700 °C	900 °C
ŞAHİT	45.23	46.68	48.28	39.72	24.98	8.65
B10	39.63	45.96	46.75	36.58	22.81	10.00
B20	34.84	36.54	35.41	29.91	21.41	9.09
B30	31.31	36.30	33.88	28.80	21.75	7.97
P10	42.00	44.99	44.94	32.24	19.14	10.20
P20	29.81	34.50	33.63	26.39	14.79	6.91
P30	26.65	29.09	29.00	20.30	14.50	5.46
O10	40.79	42.58	49.58	34.21	24.11	8.46
O20	36.73	37.50	37.26	29.82	19.14	8.02
O30	26.92	28.17	26.96	22.66	16.53	8.16

Basınç dayanımı bulguları incelendiğinde, katkı miktarının artışı sonuçları negatif yönde etkilemiştir. Yüksek sıcaklık etkisi, harç sistemi içerisindeki boşluk miktarının artmasına ve aynı zamanda harç sistemi içerisinde bulunan kılcal çatlakların büyüyerek mukavemetin düşmesine neden olmuştur. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan katkılı numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde, en iyi performansı %10 katkılı numunelerin gösterdiği tespit edilmektedir. 200 ve 300 °C sıcaklıklara maruz bırakılan şahit ve katkılı numunelerin basınç dayanımları, sıcaklığa maruz bırakılmayan numunelere göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şahit ve mineral katkılı numuneler 200 ve 300 °C sıcaklıklarda dayanım artışı gösterdikten sonra 500, 700 ve 900 °C sıcaklıklarda dayanımda azalma meydana gelmiştir. 200 °C sıcaklıkta en iyi basınç dayanımı sonucunu bazalt sonra profillit ve olivin katkılı numuneler vermektedir. 300 ve 700 °C sıcaklıkta en iyi basınç dayanımı sonucunu olivin sonra bazalt ve profillit katkılı numuneler vermektedir. 500 °C sıcaklıkta en iyi basınç dayanım sonucunu bazalt sonra olivin ve profillit katkılı numunelerin sağladığı görülmektedir. 900 °C sıcaklıkta ise en iyi basınç dayanım sonucunu profillit sonra bazalt ve olivin katkılı numunelerin verdiği görülmektedir. Katkisız şahit numuneler 900 °C sıcaklığa maruz bırakılan %10 bazalt ve profillit katkılı numuneler dışında diğer tüm sıcaklıklarda, katkılı numunelere göre daha iyi performans göstermektedir.

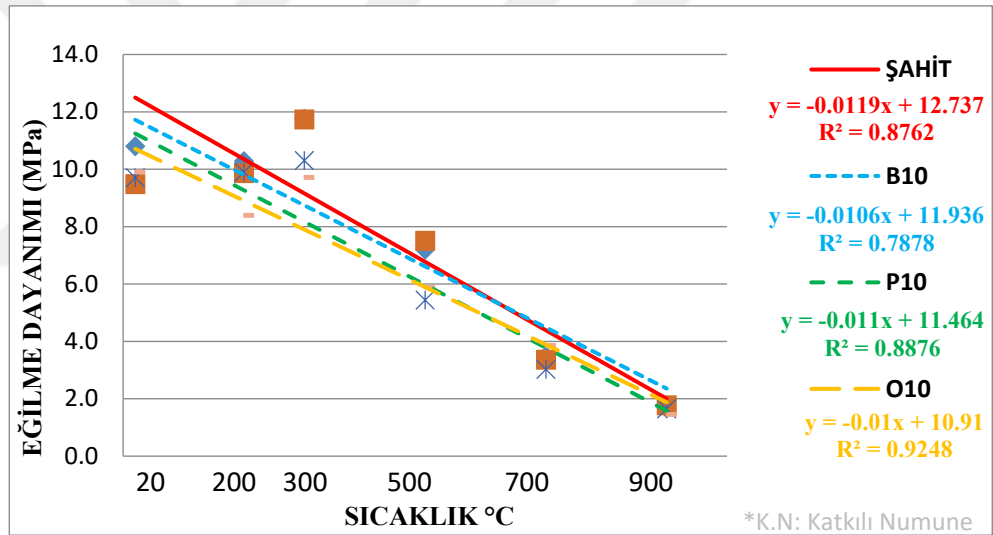
Kaya [34], Nazlı [40] yapmış oldukları deneysel çalışmalarda harç numunelerinde kullandıkları mineral katkı ve sıcaklık oranının artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinde azalış tespit etmişlerdir.

Dias ark. [55] yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklık etkisine maruz bıraktıkları çimento hamurunun yaklaşık 120 °C’de en düşük dayanım değerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin çimento hamuru içerisindeki suyun buharlaşmaya çalışması ile birlikte hamurun genişleyerek aderans kaybına neden olduğunu savunmuşlardır. Çalışmada çimento hamurunun 300 °C sıcaklıkta dayanımının arttığı sonraki sıcaklıklarda ise düşüşe geçtiğini tespit etmişlerdir. Morsy ark. [56] yapmış oldukları deneysel çalışmada mineral katkı olarak %10, %20 ve %30 oranlarında kaolinit kullanmışlardır. Tüm oranlardaki katkılı harç numunelerinin, 500 °C sıcaklığa kadar basınç dayanımlarının arttığı sonraki sıcaklıklarda ise azaldığı

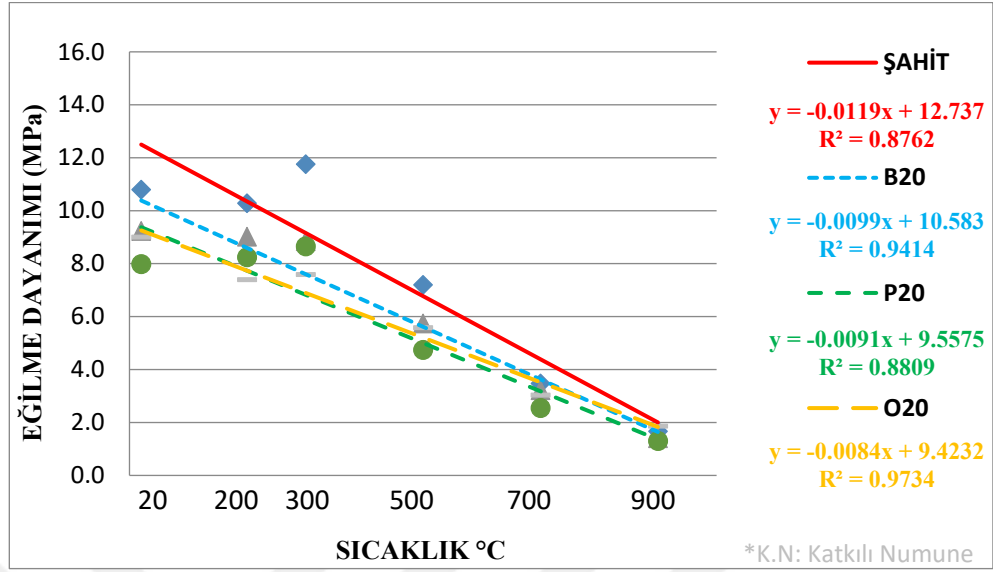
sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen veriler literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Deneyisel çalışmalarda harç numunelerinin sıcaklık etkisi ile basınç dayanımlarının artmasının nedeni, su kaybetmiş çimento tanelerinin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması buhar basıncı oluşturmaktadır. Oluşan buharın etkisi ile yeni bir hidratasyon meydana gelmektedir. Bu durum numunelerin sıcaklık etkisi ile basınç dayanımlarının artmasına neden olabilmektedir [56-57].

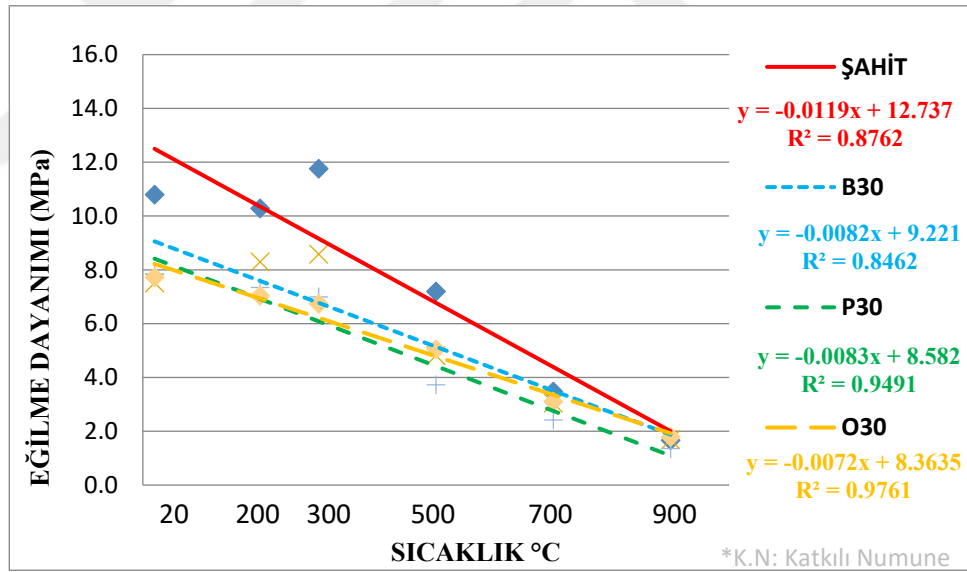
Sıcaklık ile eğilme dayanımı arasındaki ilişkinin korelasyon grafiği şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Şahit-%10 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği



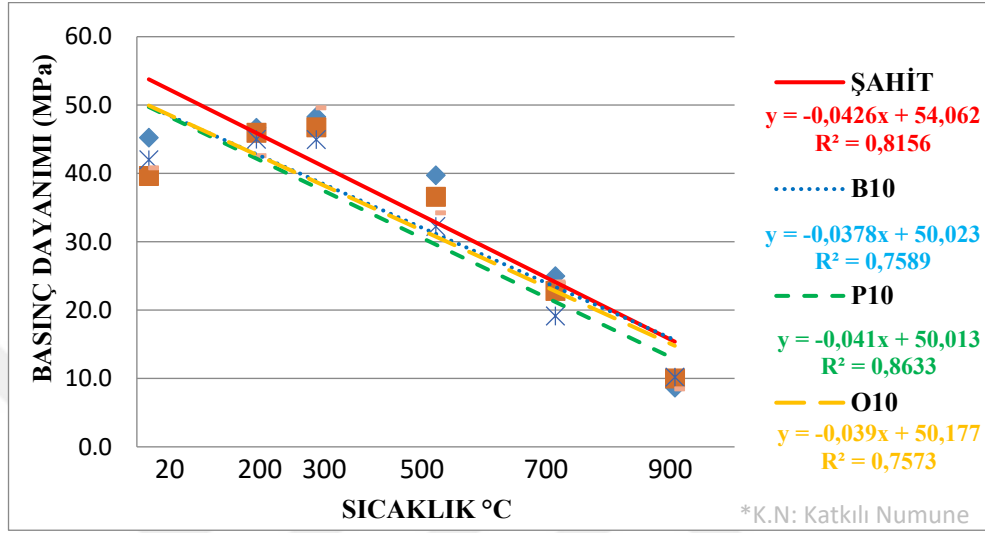
Şekil 5.2 Şahit-%20 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği



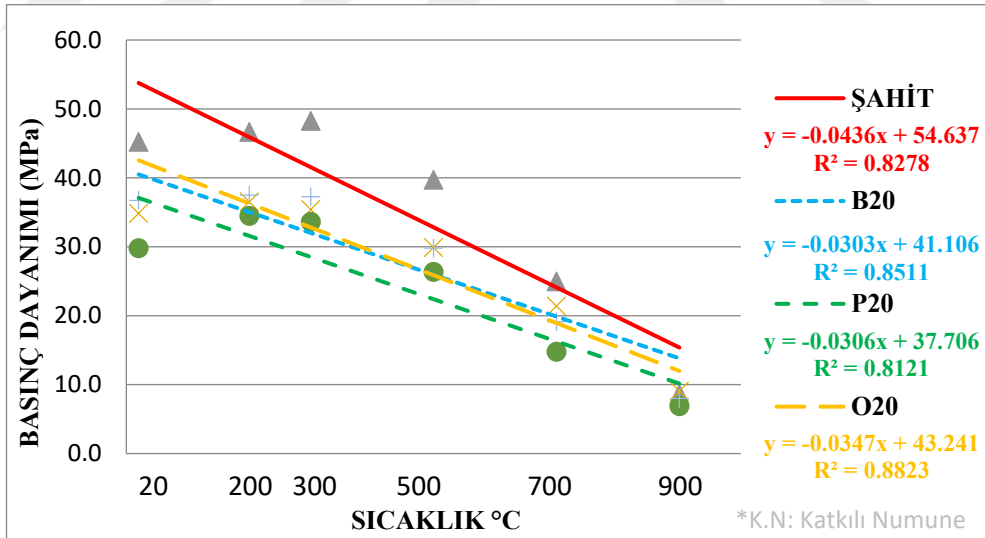
Şekil 5.3 Şahit-%30 KN eğilme-sıcaklık korelasyon grafiği

Eğilme dayanımının sıcaklık değerlerine göre değişimini gösteren korelasyon grafikleri incelendiğinde değerler arasında pozitif yönlü güçlü doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. En güçlü doğrusal sonucu $R^2 = 0.9761$ değeri ile %30 olivin katkılı numuneler göstermiştir. En düşük doğrusal sonucu ise $R^2 = 0.7878$ değeri ile %10 bazalt katkılı numuneler göstermiştir.

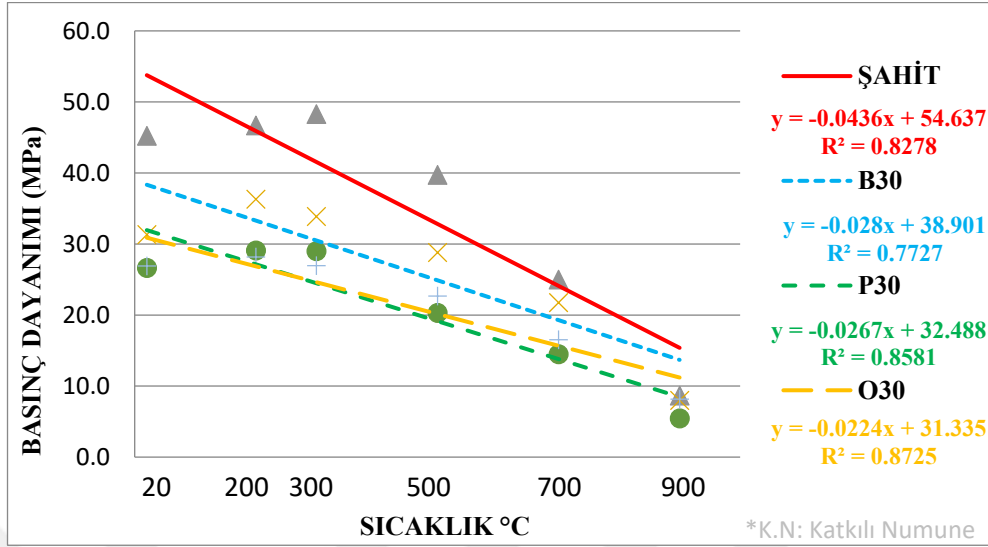
Sıcaklık ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin korelasyon grafiği şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Şahit-%10 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği



Şekil 5.5 Şahit-%20 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği



Şekil 5.6 Şahit-%30 KN basınç-sıcaklık korelasyon grafiği

Basınç dayanımının sıcaklık değerlerine göre değişimini gösteren şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da ki korelasyon grafikleri incelendiğinde değerler arasında pozitif yönlü güçlü doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. En güçlü doğrusal sonucu $R^2 = 0.8823$ değeri ile %20 olivin katkılı numuneler göstermiştir. En düşük doğrusal sonucu ise $R^2 = 0.7573$ değeri ile %10 olivin katkılı numuneler göstermiştir.

5.4. Nokta Yük Dayanım İndeksi Deneyi Bulguları

Bu kısımda deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin, nokta yük dayanım deneyi bulguları verilmiştir. Sonuçlar 3 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Nokta yük dayanımı uygulama sonucu Resim 5.3'de gösterilmiştir. Harç sisteminde %10, %20, %30 oranında kullanılan bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin ve şahit numunelerin 28 günlük nokta yük dayanımı deneyi bulguları Çizelge 5.5'de verilmiştir.



Resim 5.3 Nokta yük dayanım deneyi

Çizelge 5.5 Nokta yük dayanımı deney sonuçları

N/mm ²	20 °C	200 °C	300 °C	500 °C	700 °C
ŞAHİT	3.25	3.12	3.01	2.44	0.72
B10	2.92	2.63	2.66	2.32	0.82
B20	2.68	2.19	2.30	1.88	0.54
B30	1.92	2.22	2.06	1.35	0.50
P10	2.89	2.54	2.61	1.82	0.67
P20	2.47	2.06	2.31	1.55	0.67
P30	2.33	1.80	1.83	0.91	0.49
O10	2.93	2.92	2.72	1.85	0.86
O20	2.75	2.85	1.98	1.53	0.60
O30	2.26	2.40	1.77	1.19	0.49

Deneyisel çalışmanın sonuçları incelendiğinde, 200 °C sıcaklığa maruz kalan %20 ve %30 olivin katkılı numunelerin, katkılı şahit numunelere göre daha iyi sonuç verdikleri görülmektedir. Belirtilen durumun dışında diğer tüm sıcaklık ve katkı oranlarında katkılı şahit numuneler daha iyi sonuçlar göstermişlerdir. 200 °C sıcaklıktan 300 °C sıcaklığa geçişte B10, B20, P10, P20 ve P30 numunelerinin dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan katkılı numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde, en iyi performansı %10 katkılı numunelerin gösterdiği tespit edilmektedir. Katkılı numuneler arasında en yüksek sonucu 2.92 MPa değeri ile 200 °C sıcaklığa maruz bırakılan %10 olivin katkılı numuneler göstermiştir. En düşük sonucu 0.49 MPa değeri ile 700 °C sıcaklığa

maruz bırakılan %30 profillit ve olivin katkılı numuneler göstermiştir. Katkı miktarı artışının nokta yük dayanımının düşmesine neden olduğu görülmektedir. Katkılı numuneler birbirleri arasında kıyaslandığında, 200-300-700 °C sıcaklıklarda en iyi dayanımı %10 olivin katkılı numuneler, sonra ise bazalt ve profillit katkılı numuneler göstermiştir. 500 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler arasında ise en iyi dayanımı %10 katkılı bazalt sonra olivin ve profillit göstermiştir. 900 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler nokta yük dayanım deneyi öncesinde dağıldığı için sonuç elde edilememiştir. Şahit numuneler 200-300-500 °C sıcaklıklarda, katkılı numunelere göre daha iyi performans göstermektedir. 700 °C sıcaklıkta ise katkısız şahit numuneler, %10 bazalt ve olivin katkılı numunelerin dışında diğer tüm sıcaklık değerlerinde daha iyi dayanım göstermişlerdir.

5.5. Görünür Porozite Deneyi Bulguları

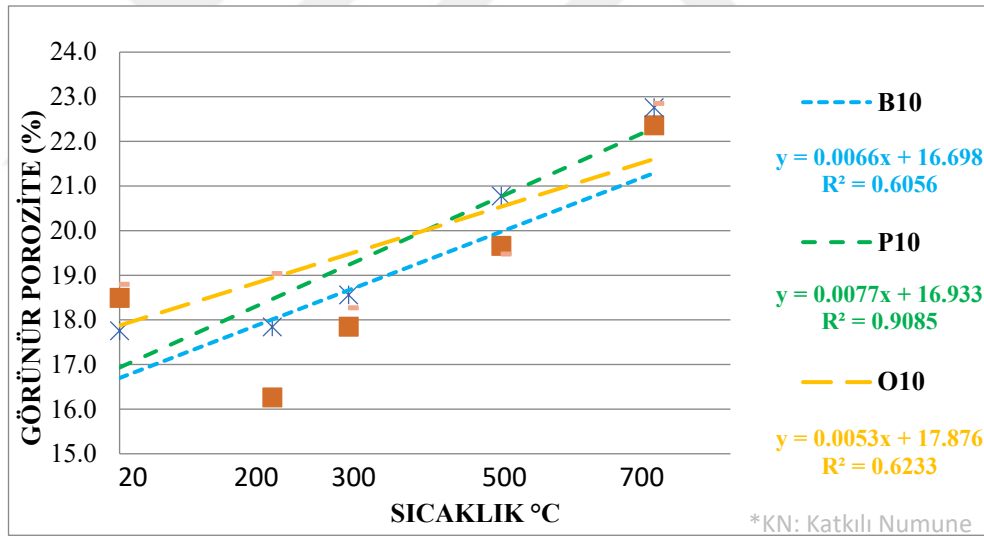
Bu kısımda deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin, görünür porozite deneyi bulguları verilmiştir. Sonuçlar 3 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Harç sisteminde %10, %20, %30 oranında kullanılan bazalt, profillit ve olivin katkılı numunelerin ve şahit numunelerin 28 günlük görünür porozite deneyi bulguları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Görünür porozite deney sonuçları

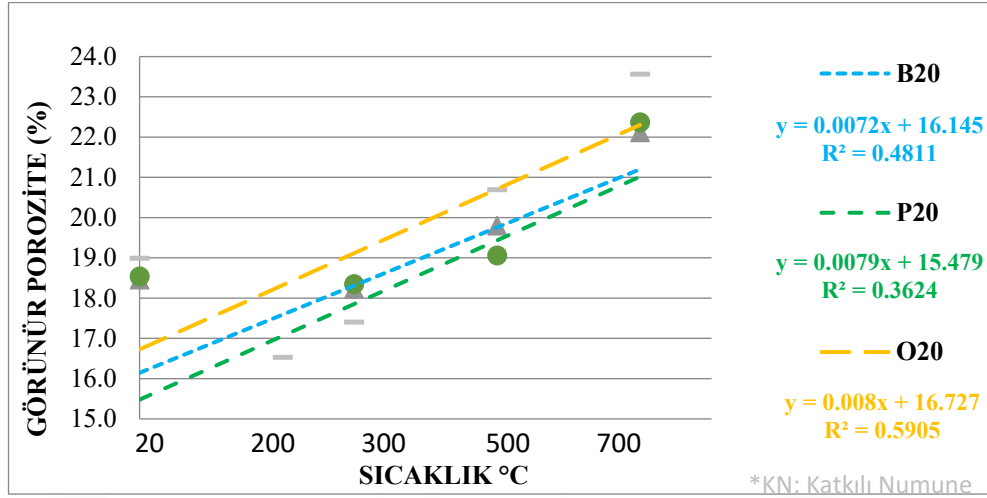
%	20 °C	200 °C	300 °C	500 °C	700 °C
ŞAHİT	18.58	17.20	20.76	18.90	17.56
B10	18.50	16.27	17.85	19.66	22.36
B20	18.46	14.39	18.23	19.80	22.12
B30	19.14	18.05	18.86	20.14	20.73
P10	17.76	17.84	18.56	20.78	22.76
P20	18.54	12.52	18.00	19.06	22.37
P30	18.59	19.09	18.16	21.20	23.45
O10	18.80	19.04	18.27	19.47	22.85
O20	18.99	16.53	17.40	20.69	23.56
O30	18.93	19.42	18.45	20.07	23.32

Bulgular incelendiğinde sıcaklık etkisinin artması, tüm numunelerin görünür porozite değerlerini negatif yönde etkilediği görülmektedir. En düşük porozite değerini 200 °C sıcaklığa maruz bırakılan %20 profillit katkılı numune göstermiştir. En yüksek porozite değerini ise 700 °C sıcaklığa maruz bırakılan %30 profillit katkılı numuneler göstermiştir. Porozite oranı genel olarak %10 katkılı numunelerde daha düşük olarak gerçekleşmiştir. %10 katkılı numuneler arasında bazalt numuneler genel olarak daha düşük porozite değerine sahip olduğu görülmektedir. Bazalttan sonra çok az fark ile profillit katkılı numunelerin, olivin katkılı numunelere göre daha düşük porozite değerine sahip olduğu görülmektedir.

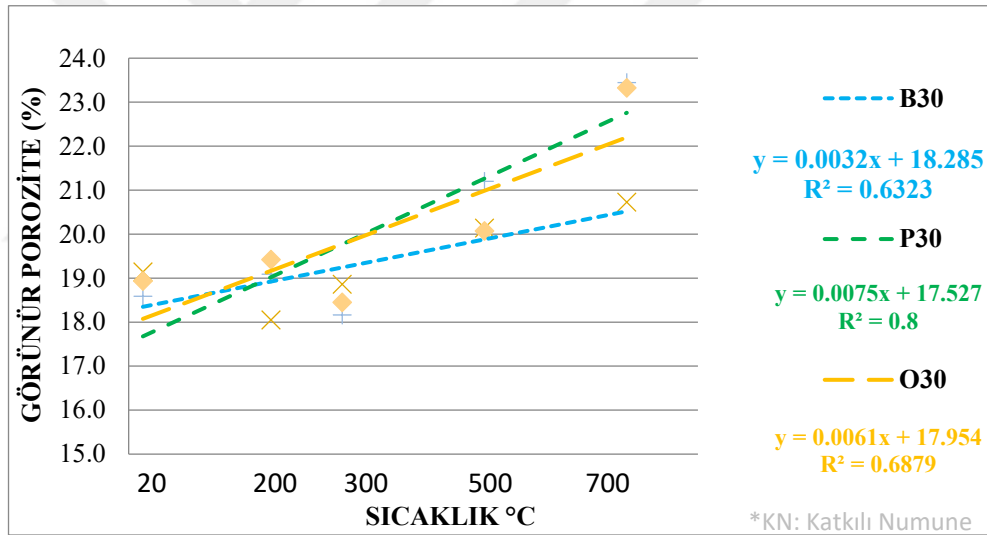
Mineral katkılı numunelerin 28 günlük, sıcaklık ile görünür porozite arasındaki ilişkinin korelasyon grafiği, Şekil 5.7, 5.8, 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.7 %10 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği



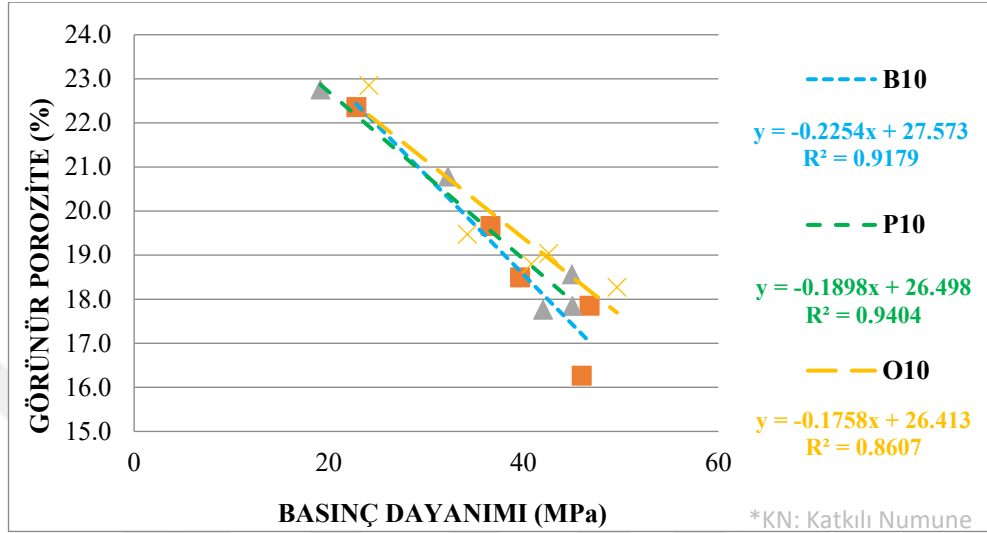
Şekil 5.8 %20 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği



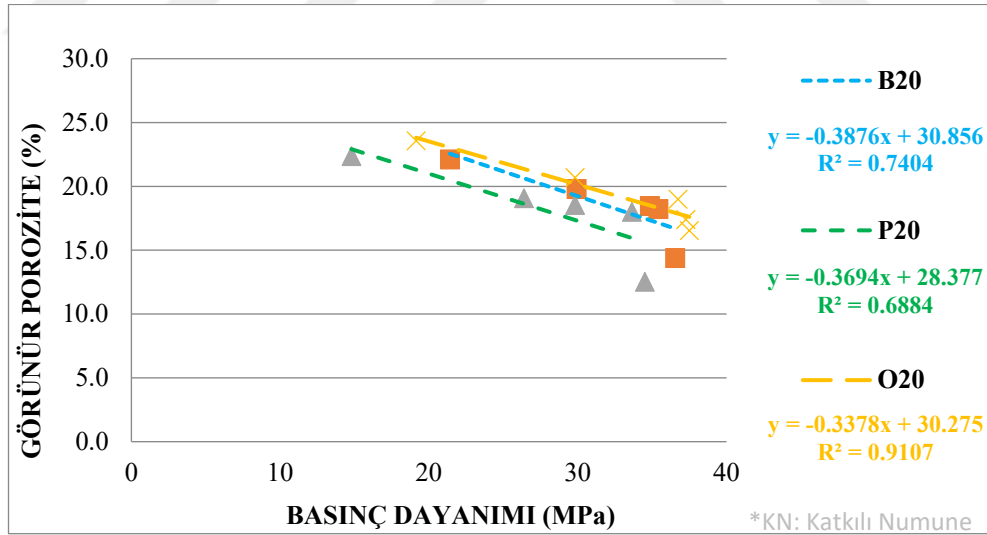
Şekil 5.9 %30 KN görünür porozite-sıcaklık korelasyon grafiği

Görünür porozite sonuçlarının sıcaklık değerlerine göre değişimini gösteren korelasyon grafikleri incelendiğinde, en düşük doğrusal ilişkinin $R^2 = 0.3624$ değeri ile %20 profillit katkı numunelerde olduğu görülmektedir. En güçlü doğrusal sonucu ise $R^2 = 0.9085$ değeri ile %10 profillit katkı numuneler göstermiştir.

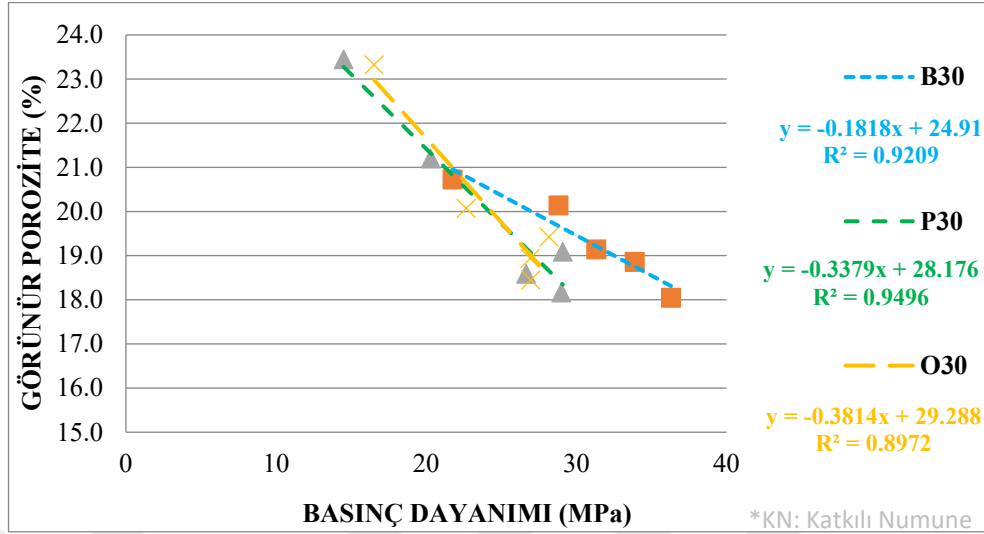
Görünür porozite deney sonuçları ile basınç dayanımı deney sonuçları arasındaki ilişkinin korelasyon grafiği şekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 %10 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği



Şekil 5.11 %20 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği



Şekil 5.12 %30 KN görünür porozite-basınç dayanımı korelasyon grafiği

Görünür porozite ve basınç dayanımı sonuçları arasındaki korelasyon grafikleri incelendiğinde, en düşük doğrusal ilişkinin $R^2 = 0.6888$ değeri ile %20 profillit katkı numunelerin verdiği görülmektedir. En güçlü doğrusal sonucu $R^2 = 0.9496$ sonucu %30 profillit katkı numuneler göstermiştir.

Gökçer [36], Karagöz [37], Nazlı [40] ve Uçarkoşar [53] yaptıkları çalışmalarda, harç numunelerinde kullandıkları mineral katkı ve sıcaklık oranının artışına bağlı olarak görünür porozite değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Elde edilen veriler literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

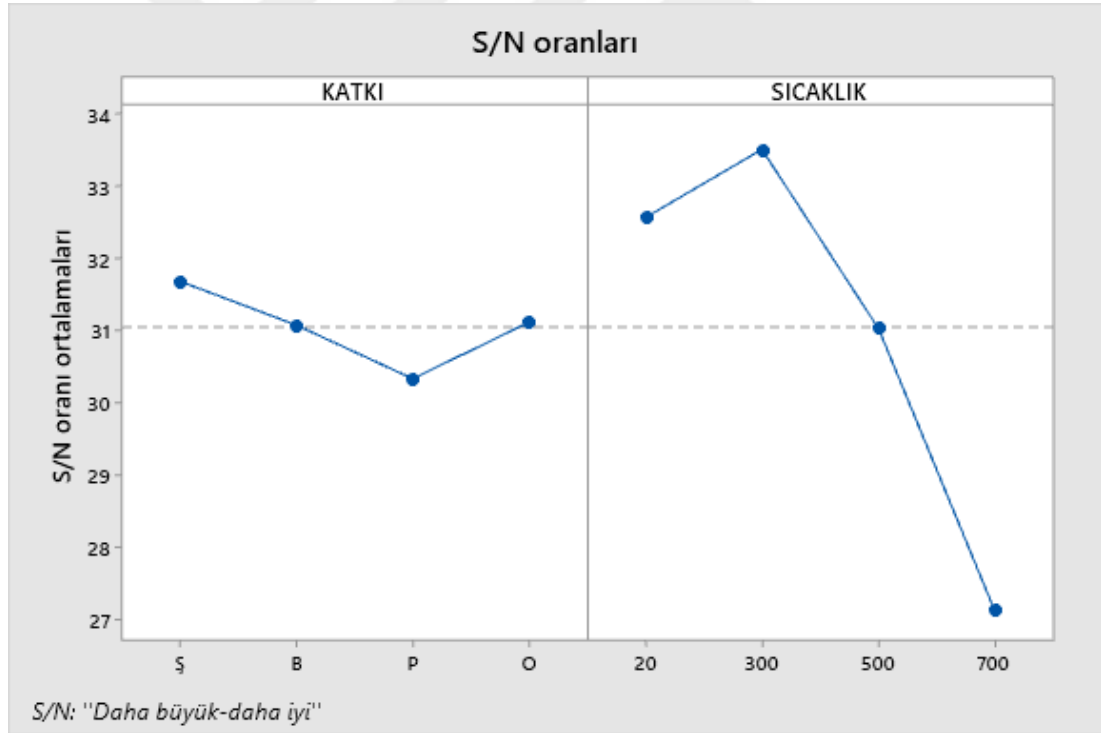
5.6. Taguchi Optimizasyon Yöntemi Bulguları

Taguchi yöntemi uygulanırken amaç fonksiyon değerleri bir S/N oranına dönüştürülür. İstenmeyen rastgele gürültü değeri (N) için istenen sinyal oranı (S) deneysel veri kalitesinin özelliklerini göstermektedir [58]. Deneysel çalışma için %10 ikameli örneklerin basınç dayanımı tasarımında optimum sıcaklık ve katkı değerinin belirlenebilmesi amacıyla en uygun taguchi ortogonal seri olarak L16 (4^2) seçilmiştir. S/N oranı olarak ise “daha büyük-daha iyi” yöntemi kullanılmıştır. Deney faktörleri ve seviyeleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Deney seviyeleri ve parametreler

Parametre	Seviye	Seviye	Seviye	Seviye
Sıcaklık °C	20	300	500	700
Katkılar	Ş	B	P	O

Gerçekleştirilen analiz sonrası katkı ve sıcaklık parametreleri için elde edilen ortalama S/N oranları üzerindeki etki Şekil 5.13’de verilmiştir. Katkı tipi parametreleri içinde en yüksek değerler Ş ile simgelenen şahit seriler üzerinde tespit edilirken, en düşük değerler P ile simgelenen profilit ikameli serilerde tespit edilmiştir. Sıcaklık parametresinin etkisi incelendiğinde ise en yüksek değerler 300 °C sıcaklıkta, en düşük değerler ise 700 °C sıcaklık değerlerinde tespit edilmiştir.



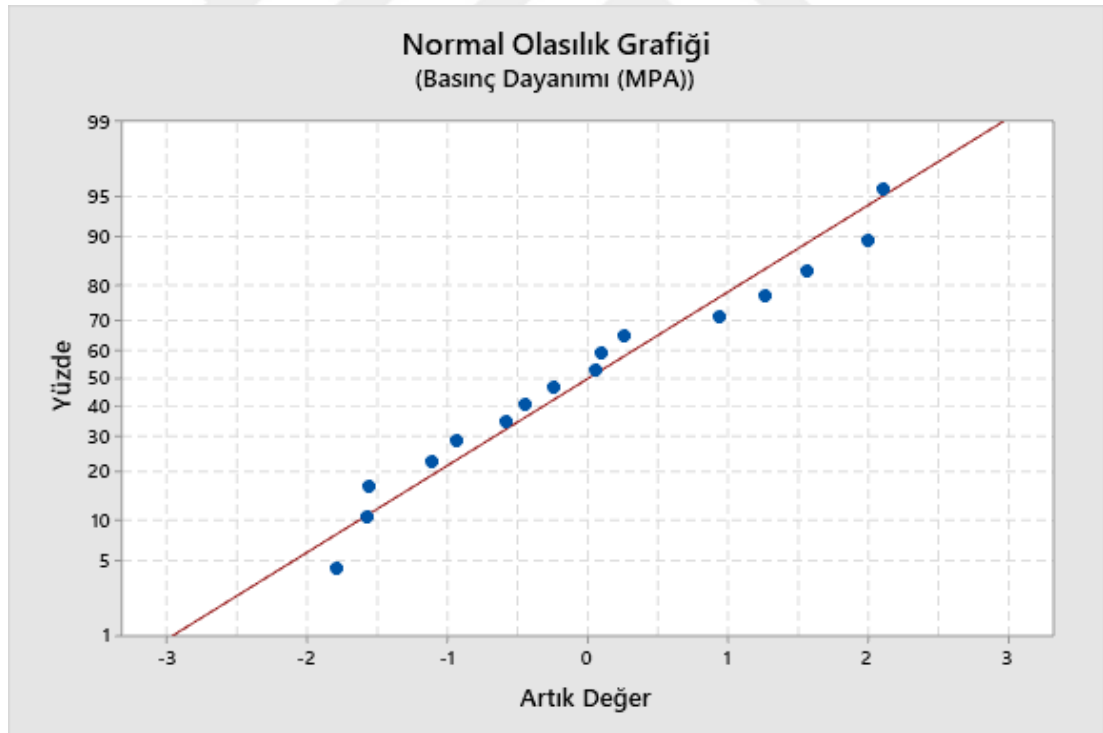
Şekil 5.13 Basınç dayanımı için ortalama S/N oranı üzerindeki parametre etkileri

Basınç dayanımı üzerine etki eden iki faktöre ait varyans analizi verileri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Basınç dayanımı üzerinde en etkili olan parametre %94.89 ile sıcaklık olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8 Varyans analizi bulguları

Source	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Katkı	3	49.49	3.43%	49.49	16.498	6.09	0.015
Sıcaklık	3	1370.71	94.89%	1370.71	456.902	168.77	0.000
Hata	9	24.37	1.69%	24.37	2.707		
Toplam	15	1444.57	100.00%				

Normal olasılık grafikleri regresyon modeli denklemine kıyasla tek tek değerlerin sapmalarını gösterir. Çizgi etrafında yer alan kümelenmiş noktalar düşük sapma değerini göstermektedir. Basınç dayanımı için çizilen Normal Olasılık Grafiği Şekil 5.14’de verilmiştir. Buna göre basınç dayanımı için hata oranlarının dağılımında normal bir dağılım olduğu ve neredeyse doğrusal bir davranış gösterdiği söylenebilir.



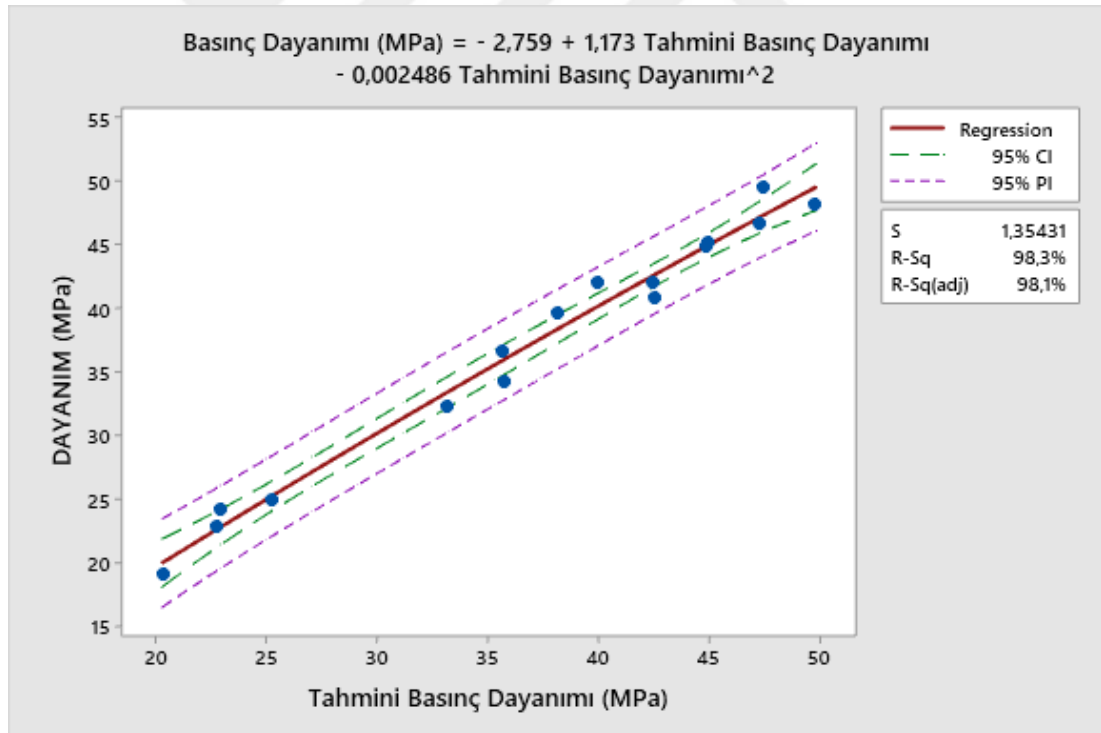
Şekil 5.14 Basınç dayanımına ait S/N oranları için artık değer grafiği

Katkı tipi ve sıcaklık etkisinin basınç dayanımına olan etkisine ait regresyon denklemleri Çizelge 5.9’da sıralanmıştır.

Çizelge 5.9 Regresyon denklemleri

Katkı Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)
Ş	Basınç Dayanımı = 50.87- 0.02977 x Sıcaklık
B	Basınç Dayanımı = 48.35 – 0.02977 x Sıcaklık
P	Basınç Dayanımı = 45.89 – 0.02977 x Sıcaklık
O	Basınç Dayanımı = 48.49 – 0.02977 x Sıcaklık

Kuadratik regresyon modelinde deneysel basınç dayanımı sonuçları ile karşılaştırılan tahmini basınç dayanımı değerleri Şekil 5.15’de verilmiştir. Tahmini değerler ile deneysel veriler arasında oldukça iyi bir korelasyon bulunmuştur. Kuadratik regresyon modeli ile gerçekleştirilen denklemlerde R^2 %98.35 olarak bulunmuştur.



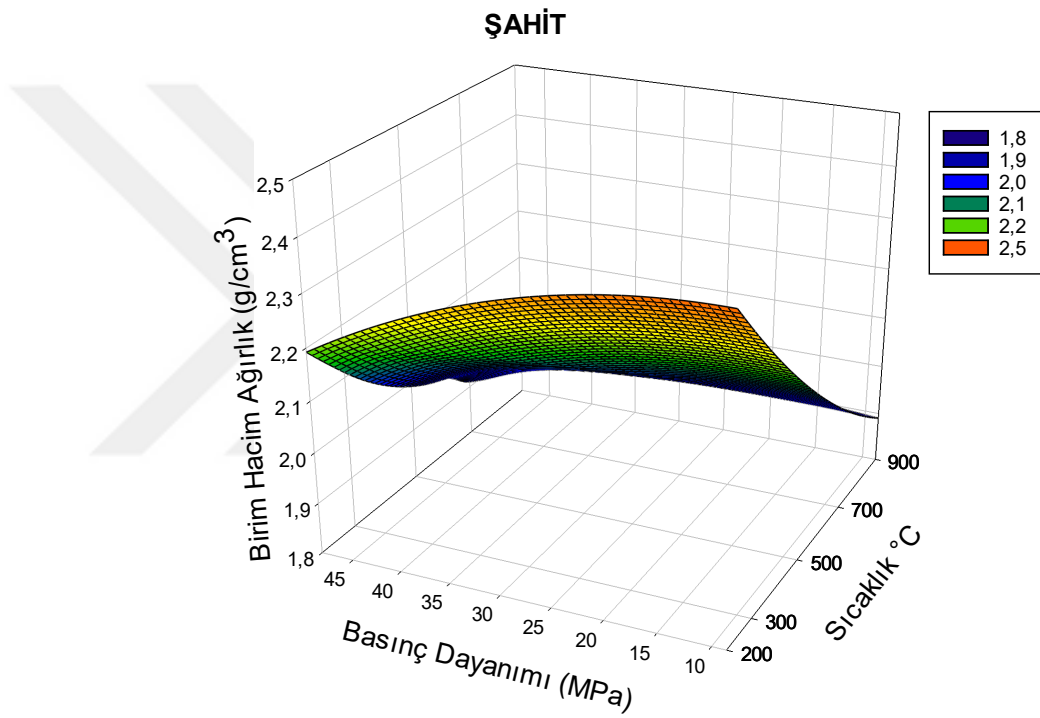
*PI: Tahmini değer sınırı, CI: Güven aralığı

Şekil 5.15 Kuadratik regresyon modeli ile elde edilen tahmini basınç dayanımı ile gerçek basınç dayanımı karşılaştırması

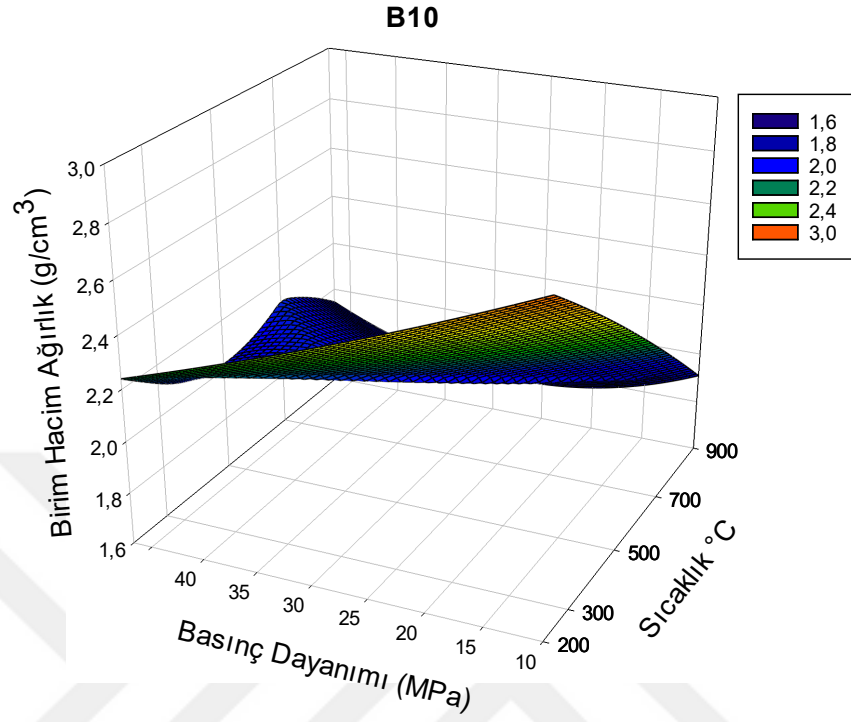
5.7. DeneySEL Bulguların Karşılaştırılması

5.7.1. Birim Hacim Ağırlık-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması

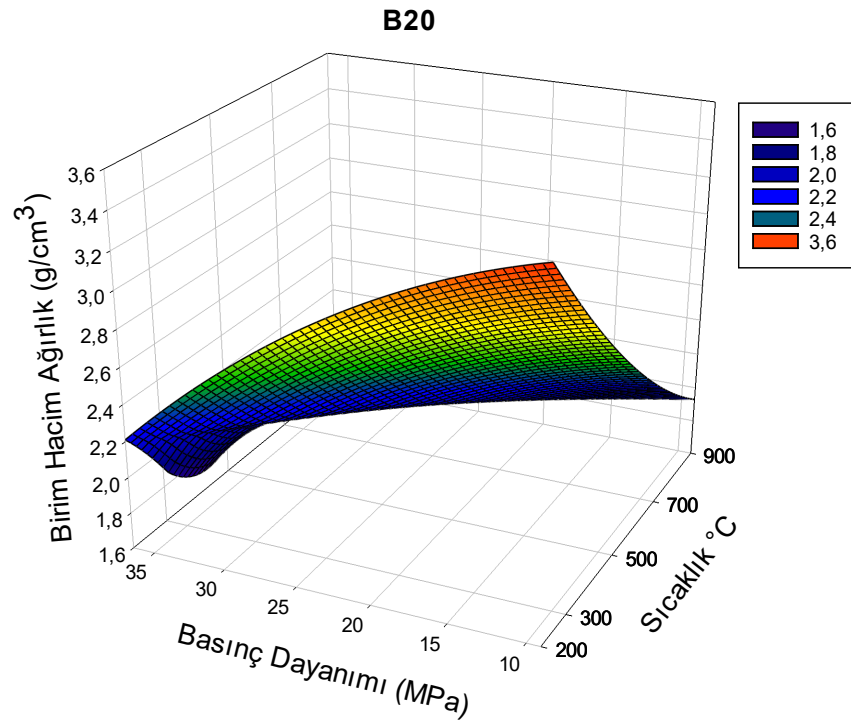
Birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.16 - 5.25’de sunulmuştur.



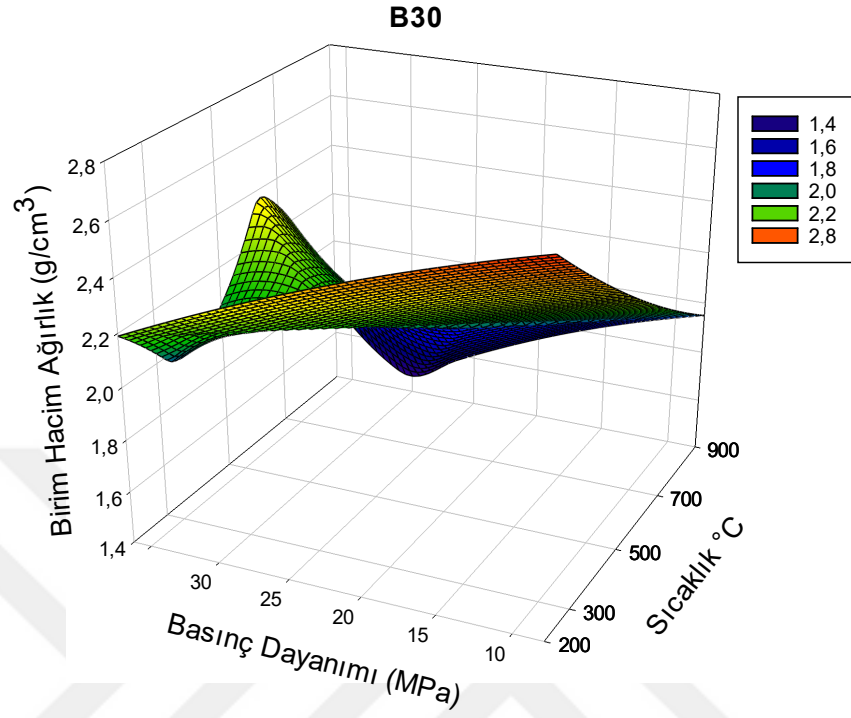
Şekil 5.16 Şahit serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



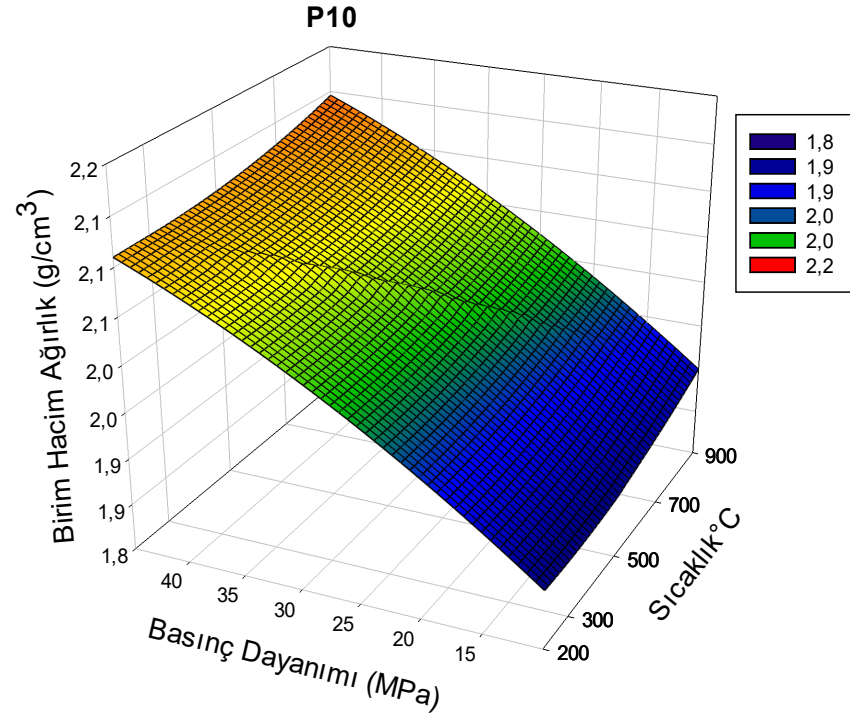
Şekil 5.17 B10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



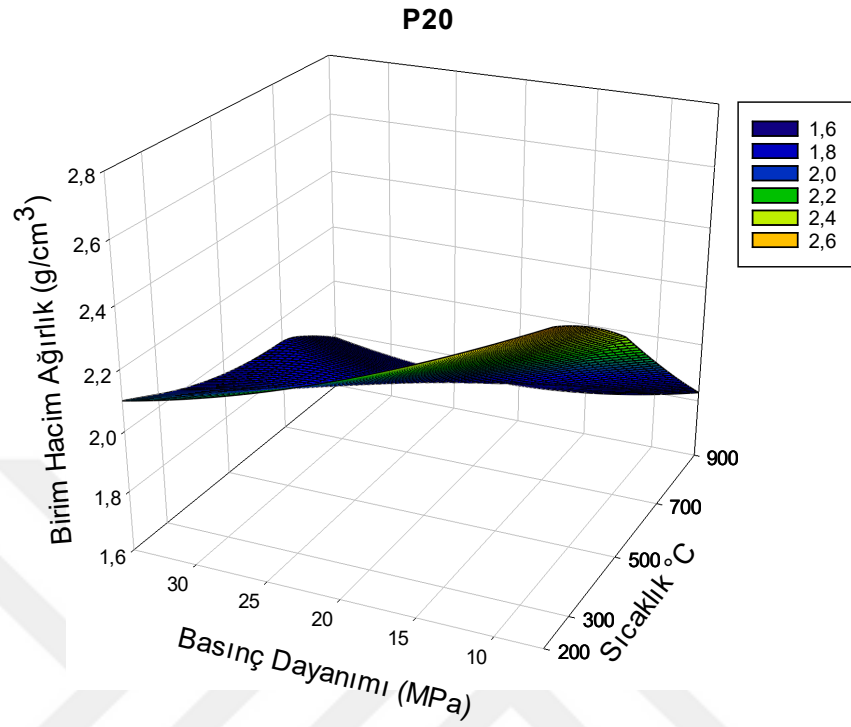
Şekil 5.18 B20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



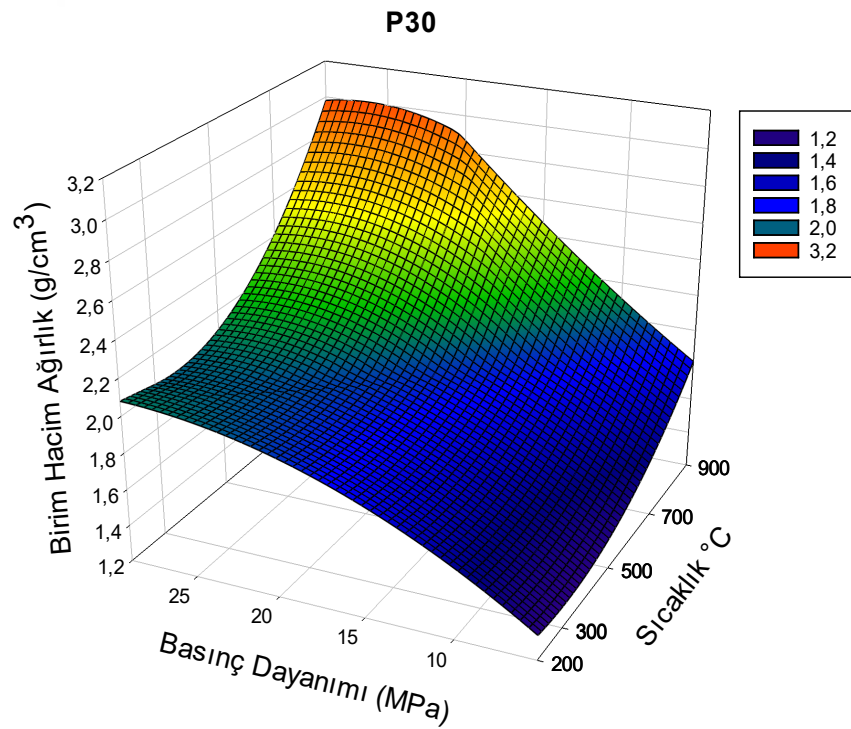
Şekil 5.19 B30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



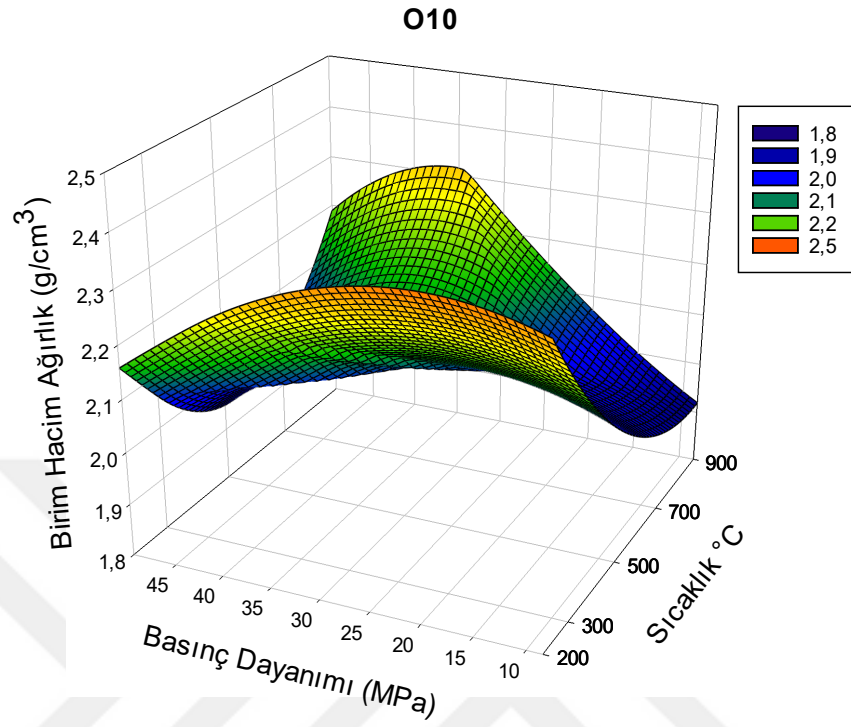
Şekil 5.20 P10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



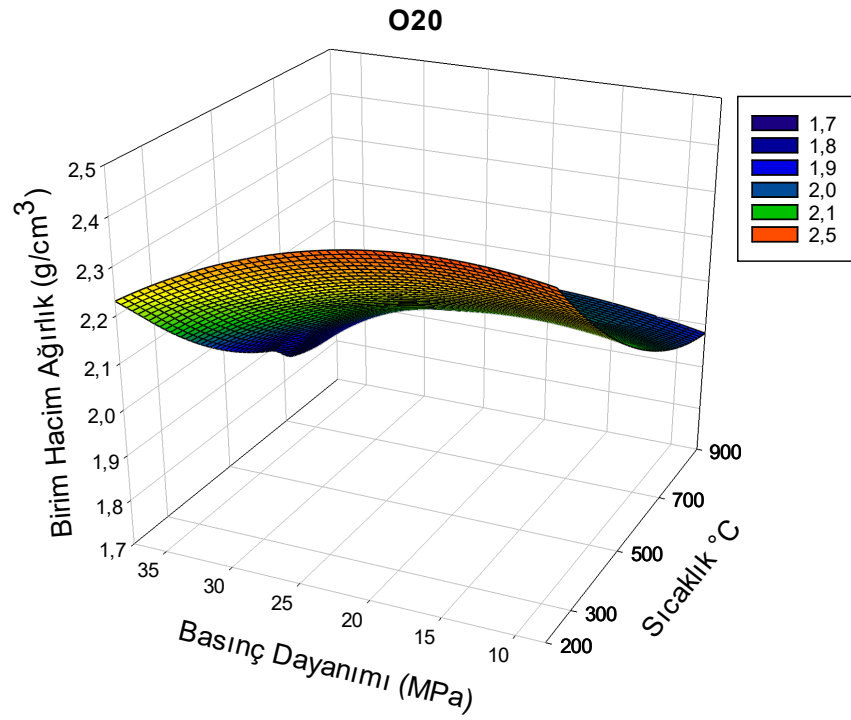
Şekil 5.21 P20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



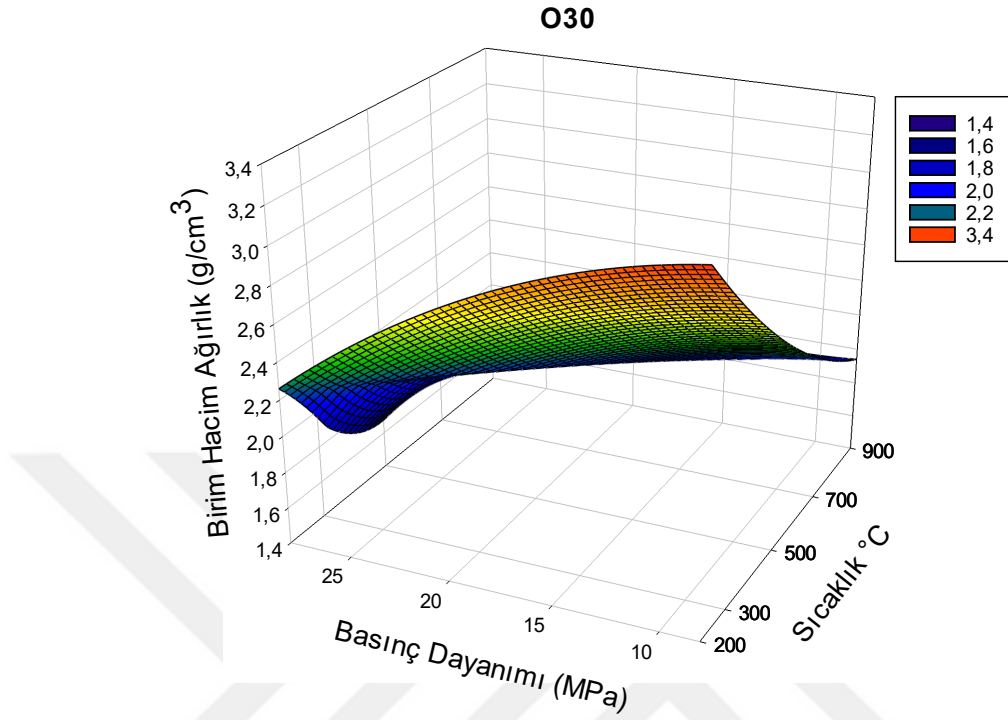
Şekil 5.22 P30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.23 O10 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



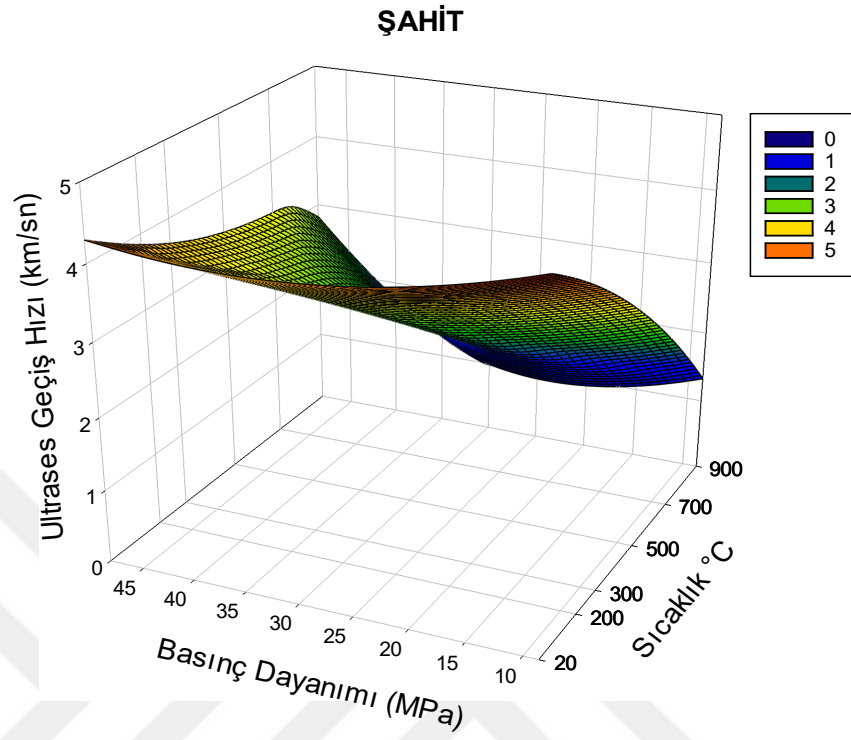
Şekil 5.24 O20 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları



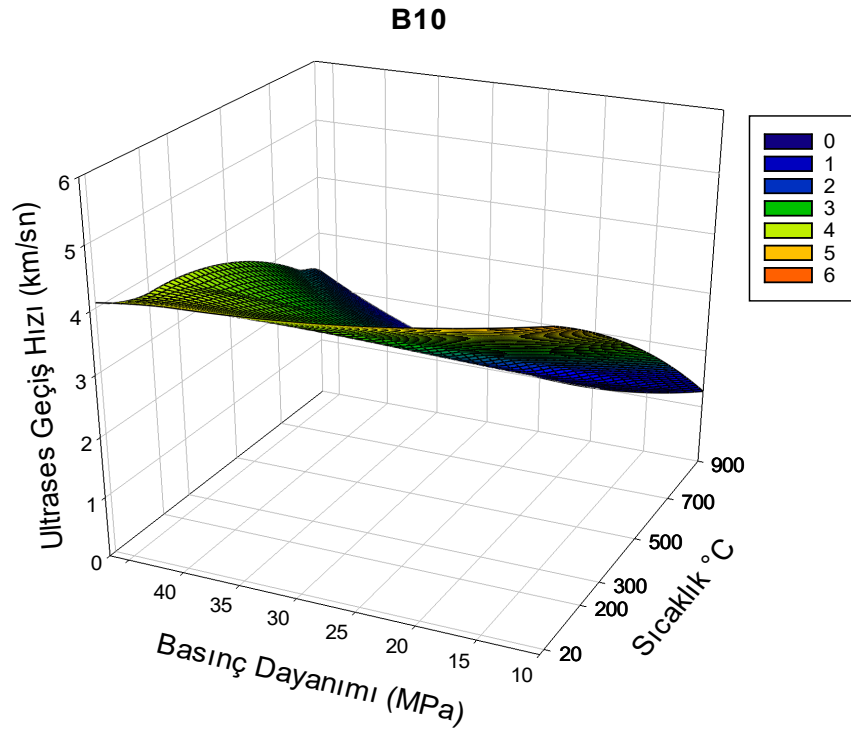
Şekil 5.25 O30 serisi birim hacim ağırlık-basınç dayanımı sonuçları

5.7.2. Ultrases Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması

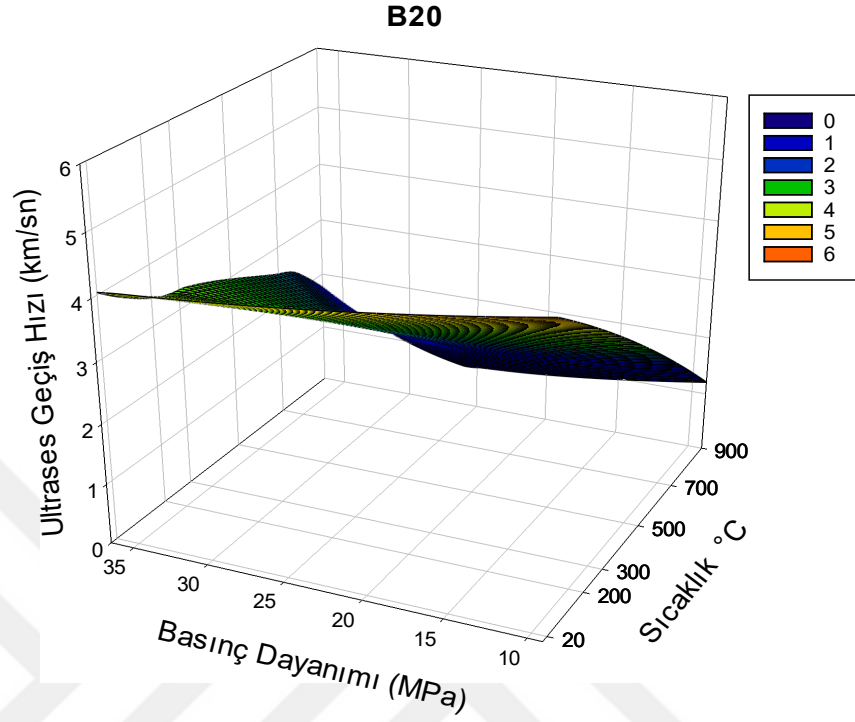
Ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.26 – 5.35’de sunulmuştur.



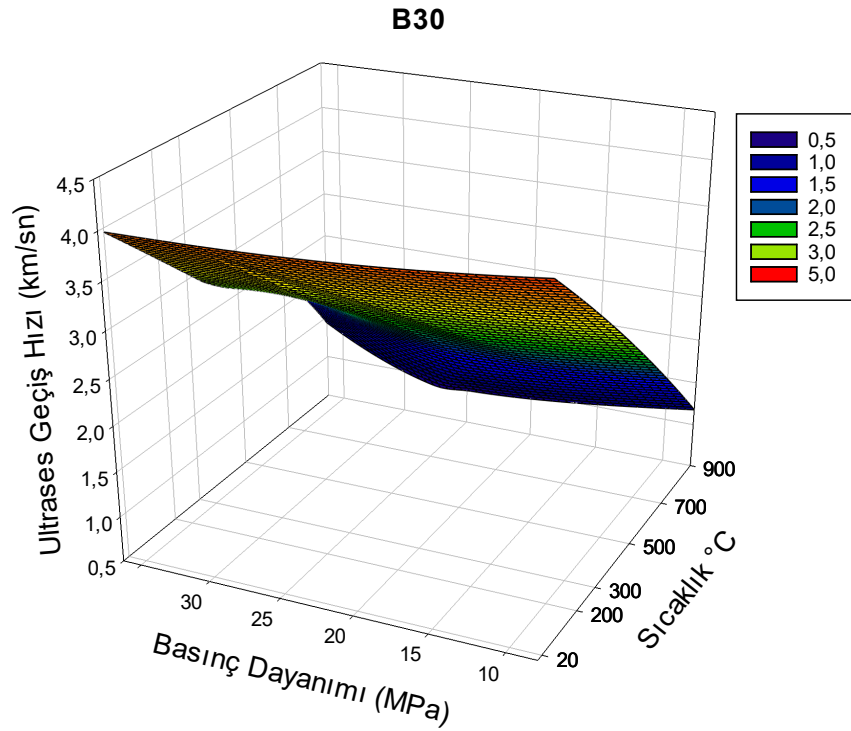
Şekil 5.26 Şahit serisi ultras ses geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



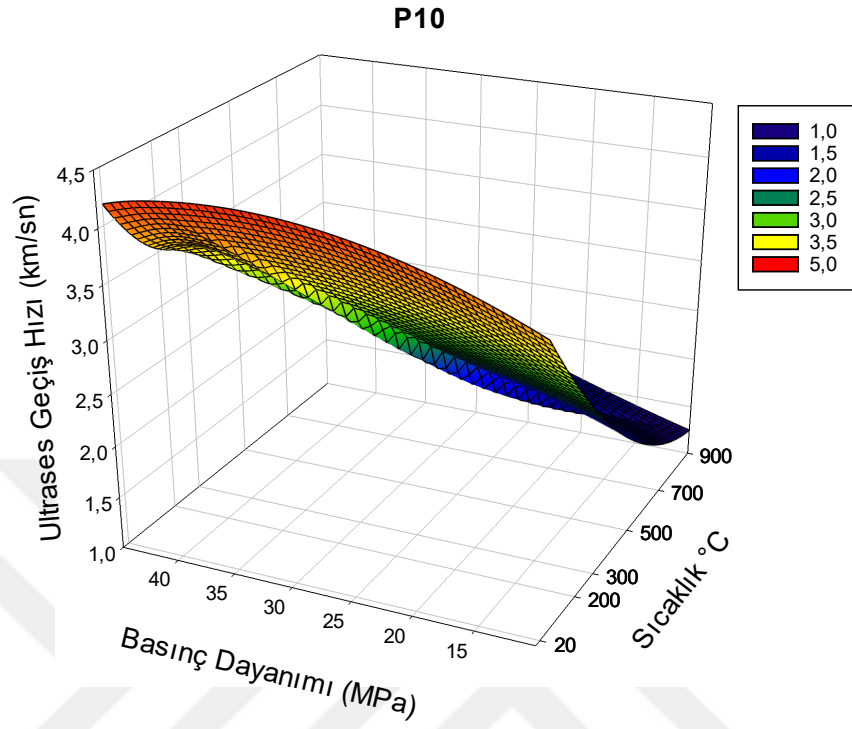
Şekil 5.27 B10 serisi ultras ses geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



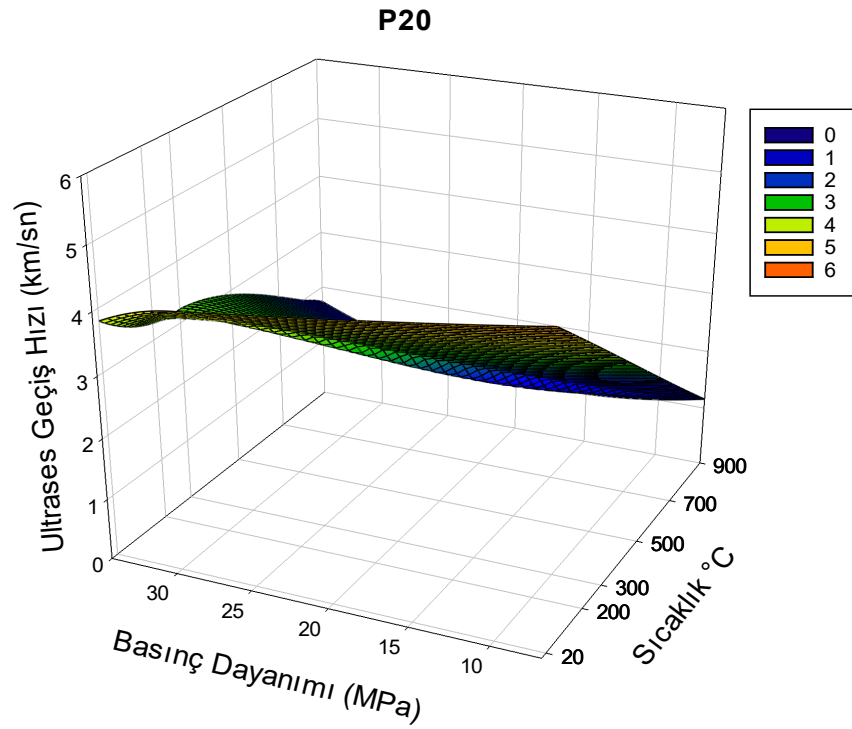
Şekil 5.28 B20 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



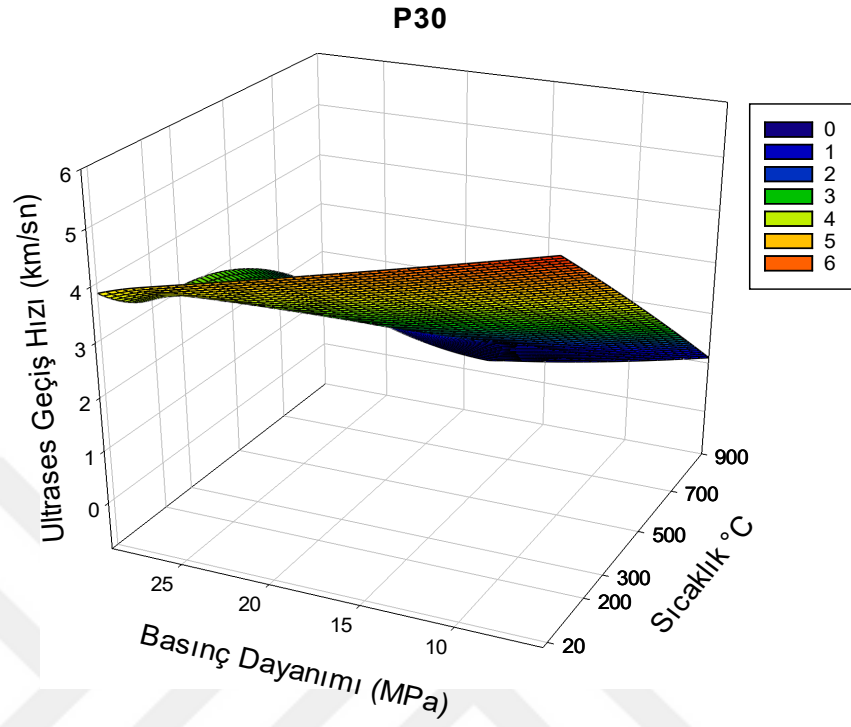
Şekil 5.29 B30 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



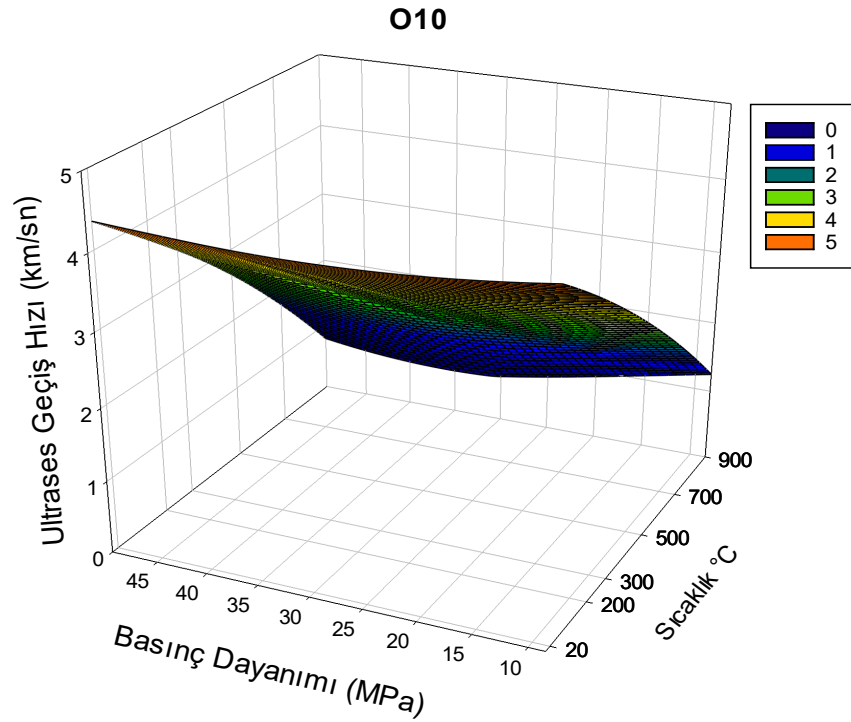
Şekil 5.30 P10 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



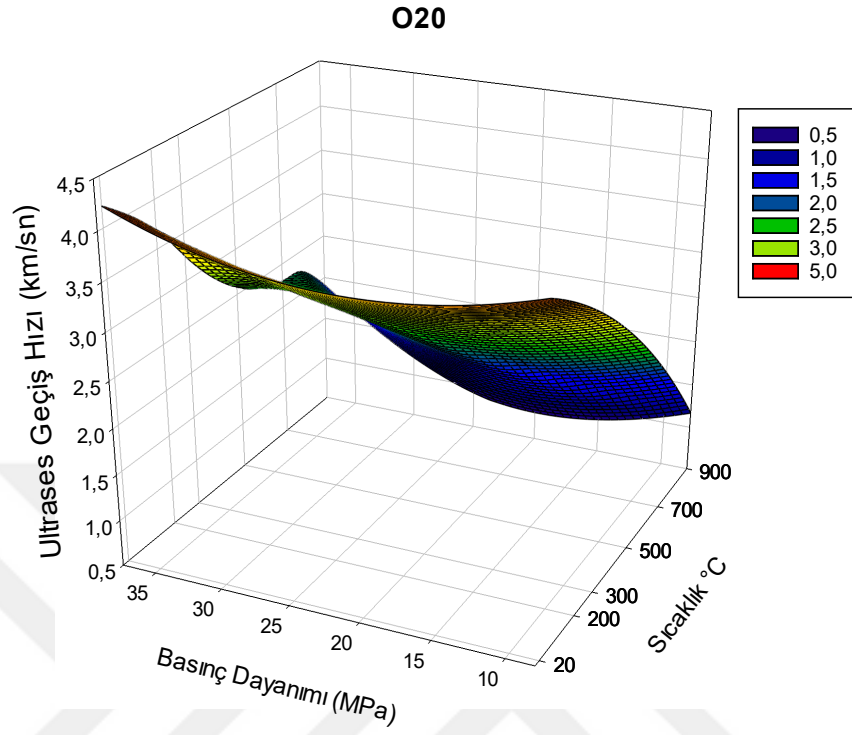
Şekil 5.31 P20 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



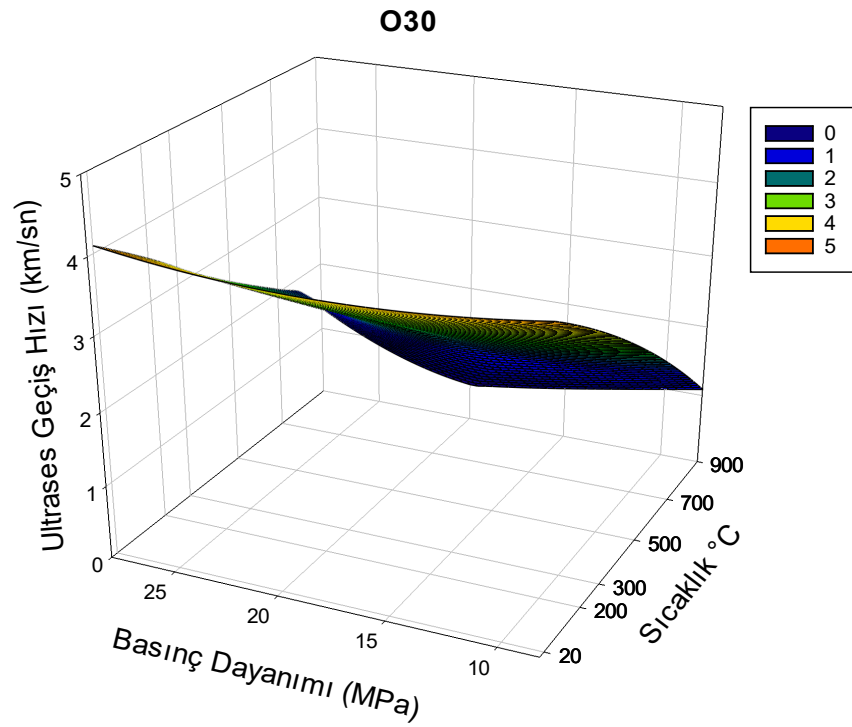
Şekil 5.32 P30 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.33 O10 serisi ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.34 O20 serisi ultras ses geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları

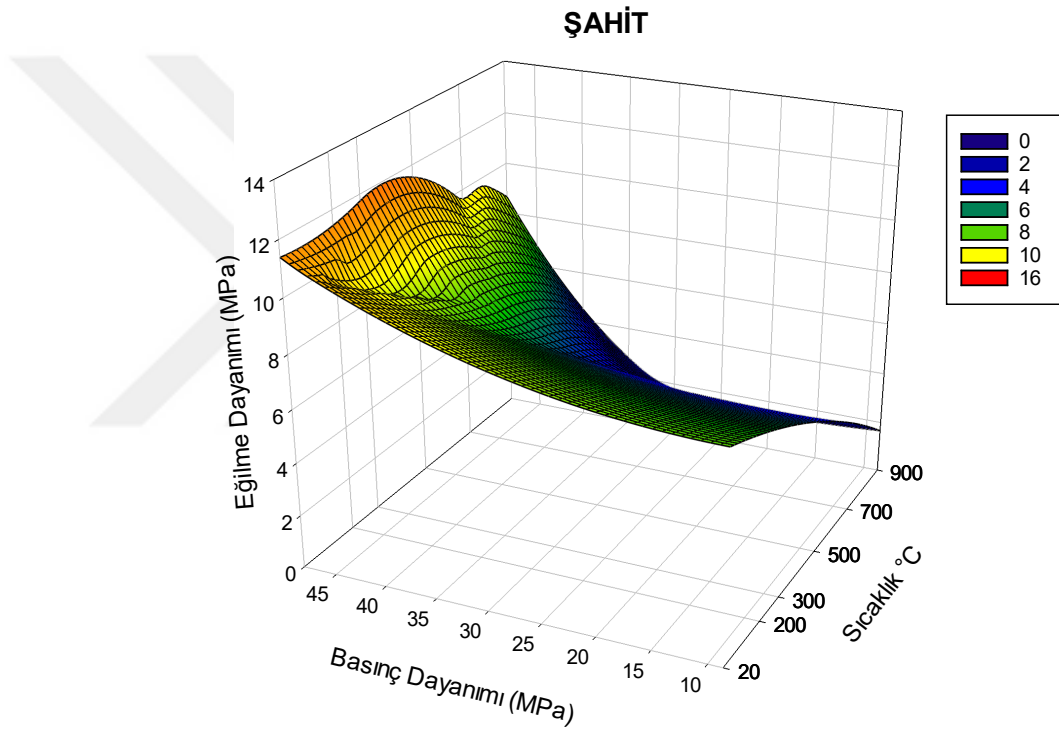


Şekil 5.35 O30 serisi ultras ses geçiş hızı-basınç dayanımı sonuçları

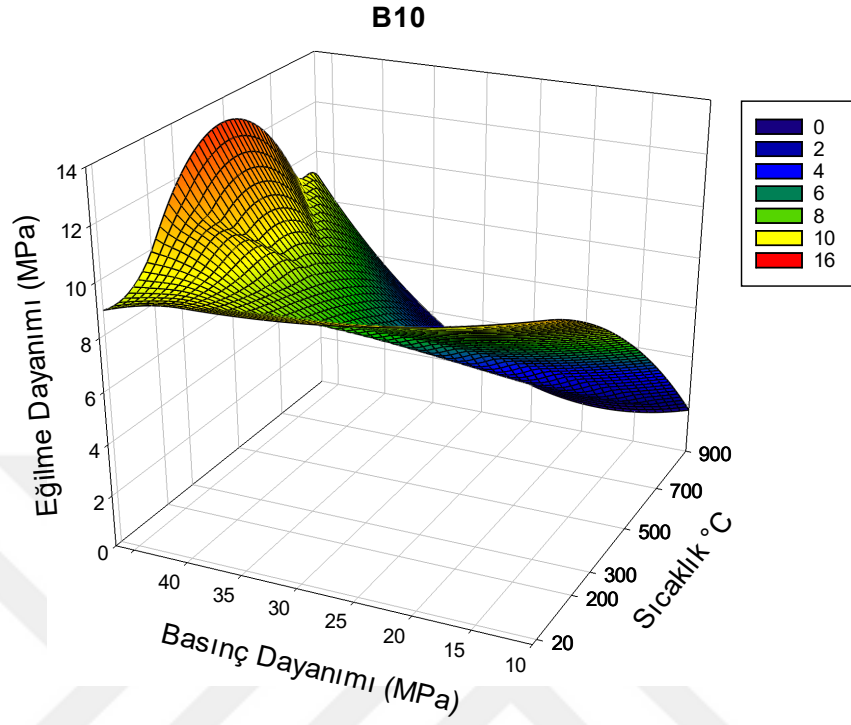
Deney bulguları karşılaştırıldığında katkı miktarının artışı ile birlikte her iki deneyde de sonuçların aşağı yönlü ilerlediği görülmektedir.

5.7.3. Eğilme-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması

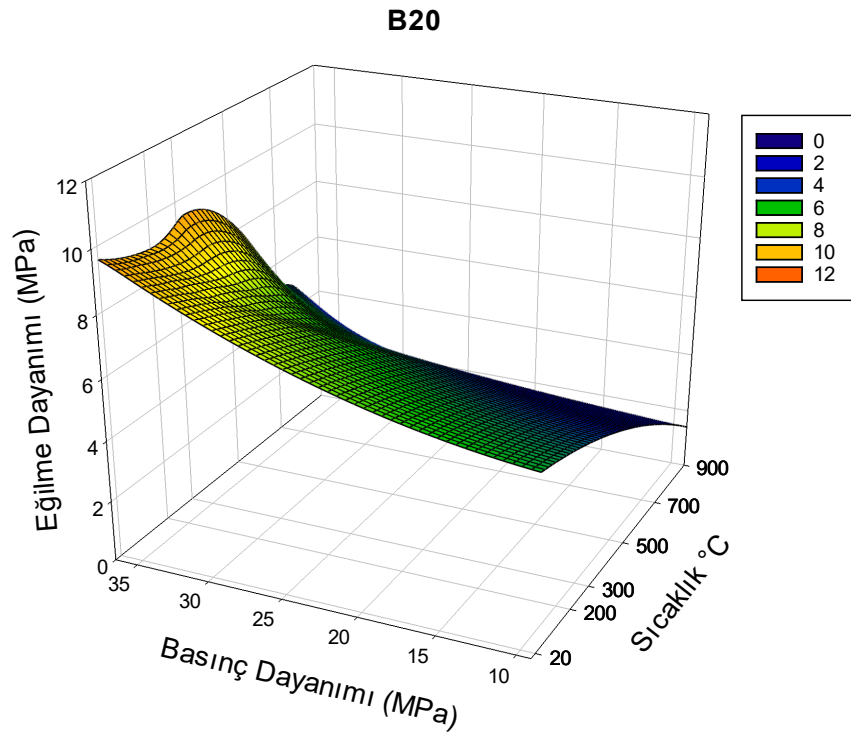
Eğilme ve basınç dayanımı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.36 – 5.45’de sunulmuştur.



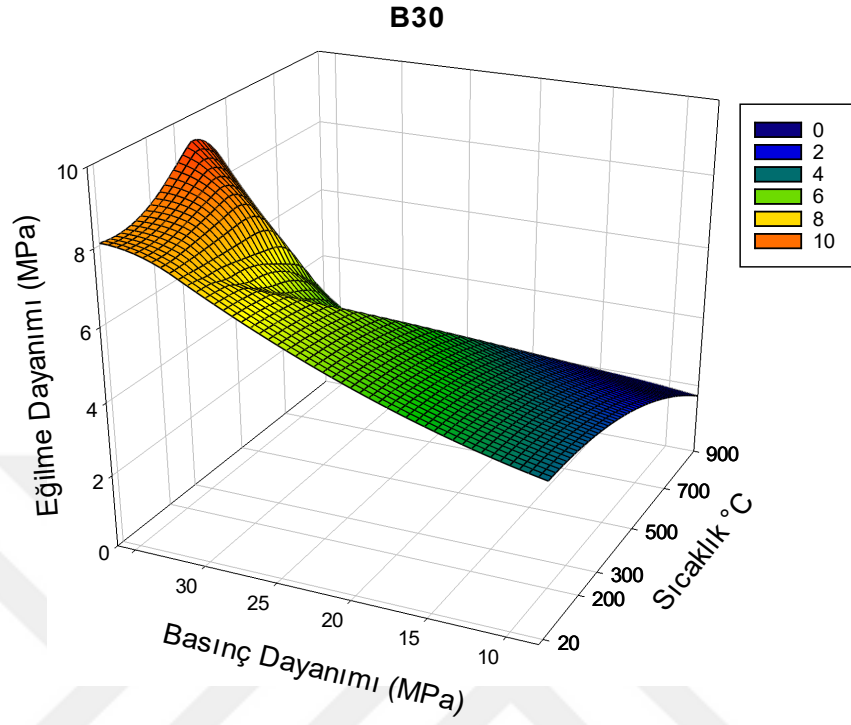
Şekil 5.36 Şahit serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



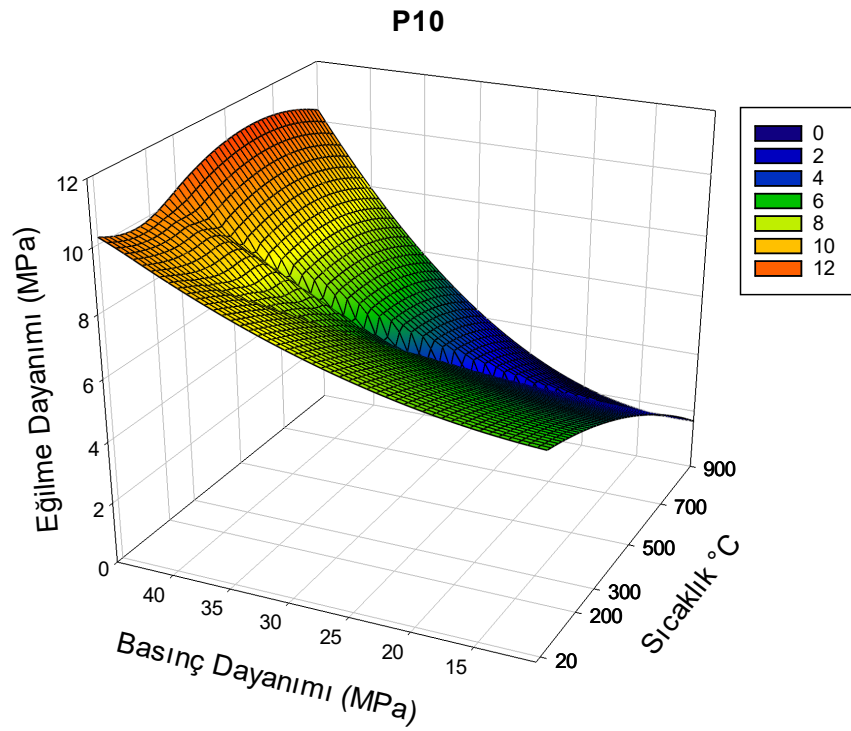
Şekil 5.37 B10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



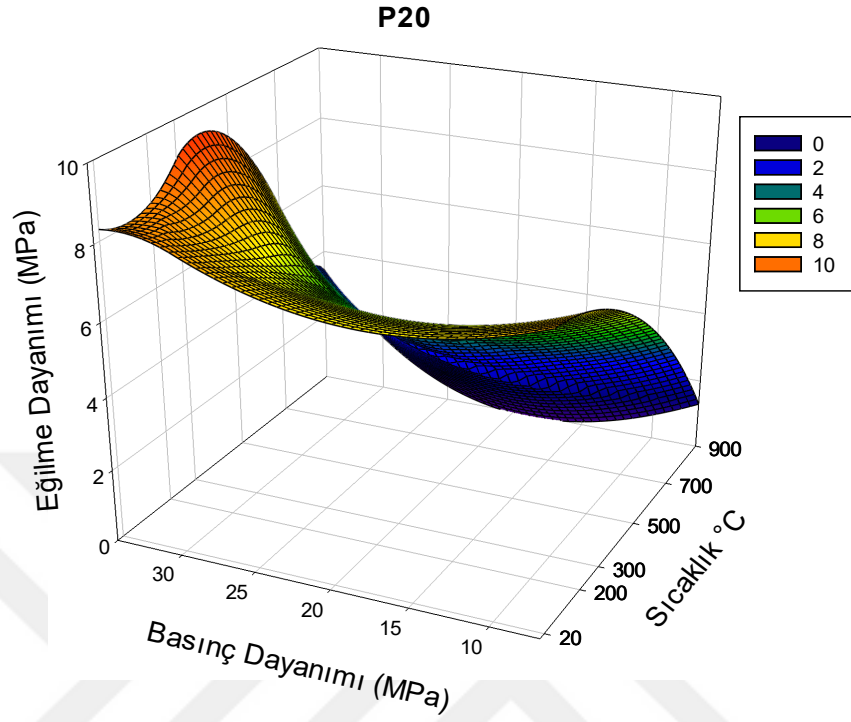
Şekil 5.38 B20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



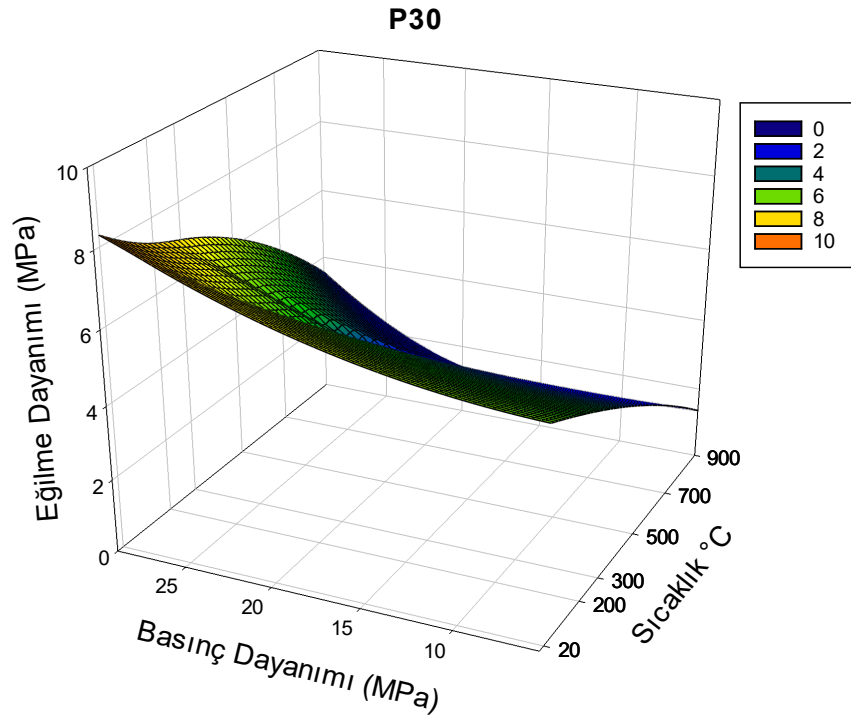
Şekil 5.39 B30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



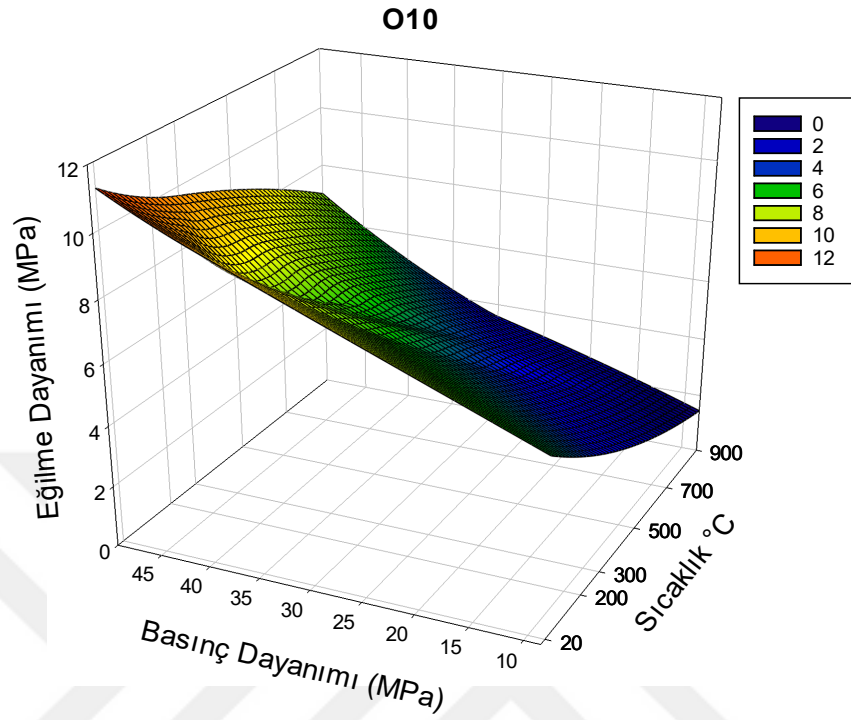
Şekil 5.40 P10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



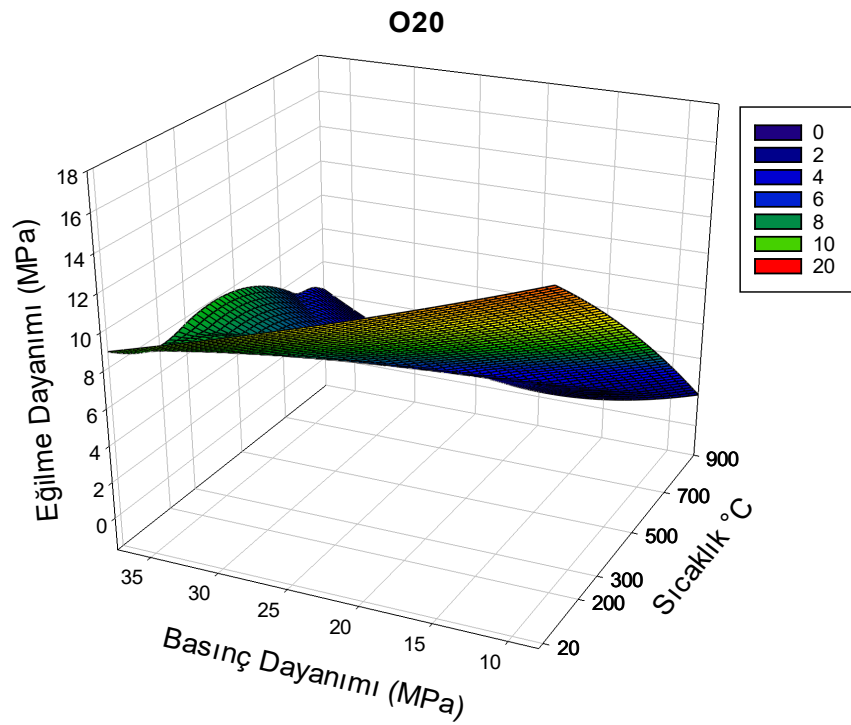
Şekil 5.41 P20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



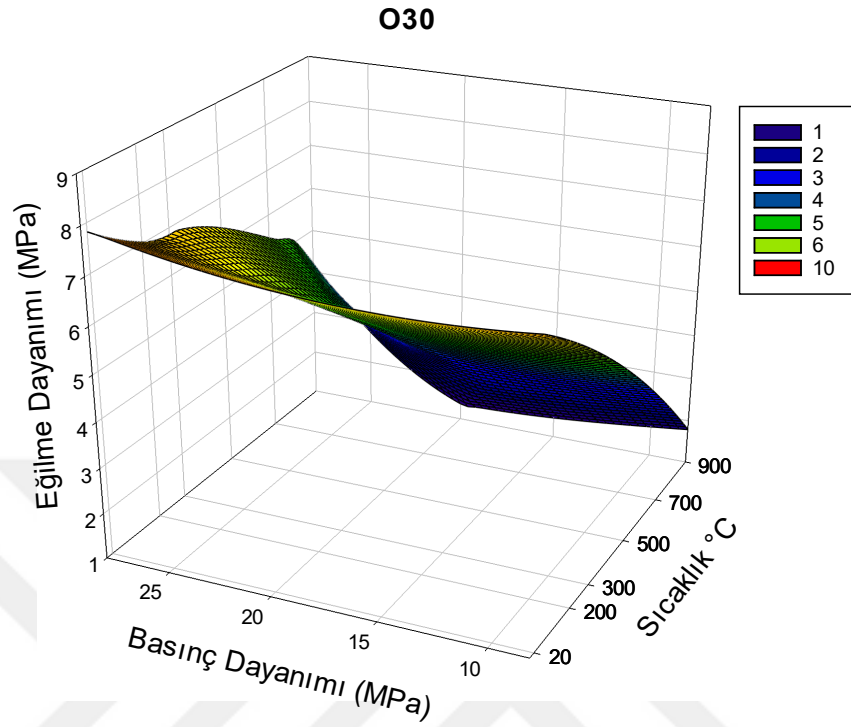
Şekil 5.42 P30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.43 O10 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.44 O20 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları

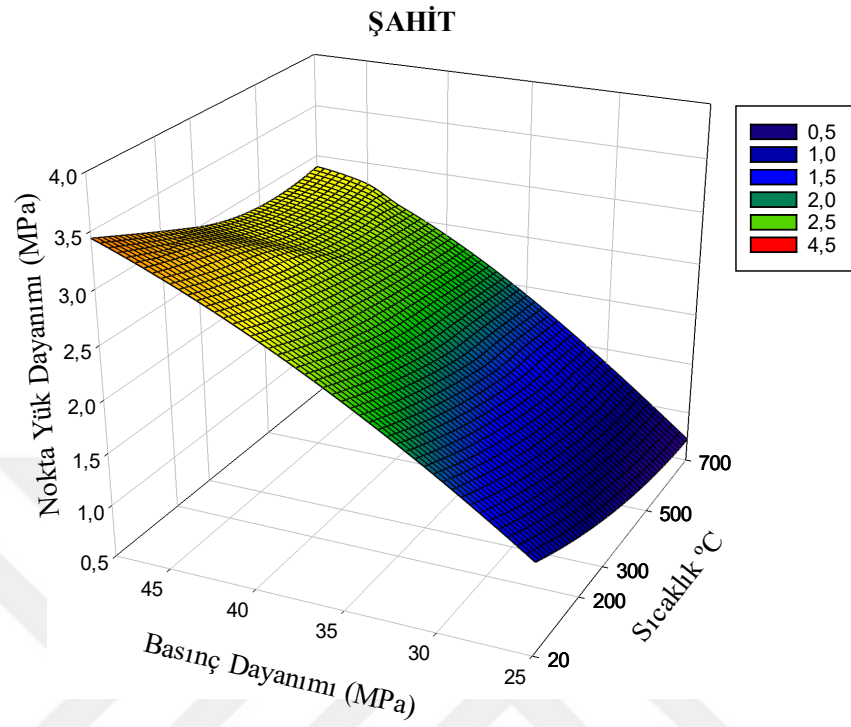


Şekil 5.45 O30 serisi eğilme-basınç dayanımı sonuçları

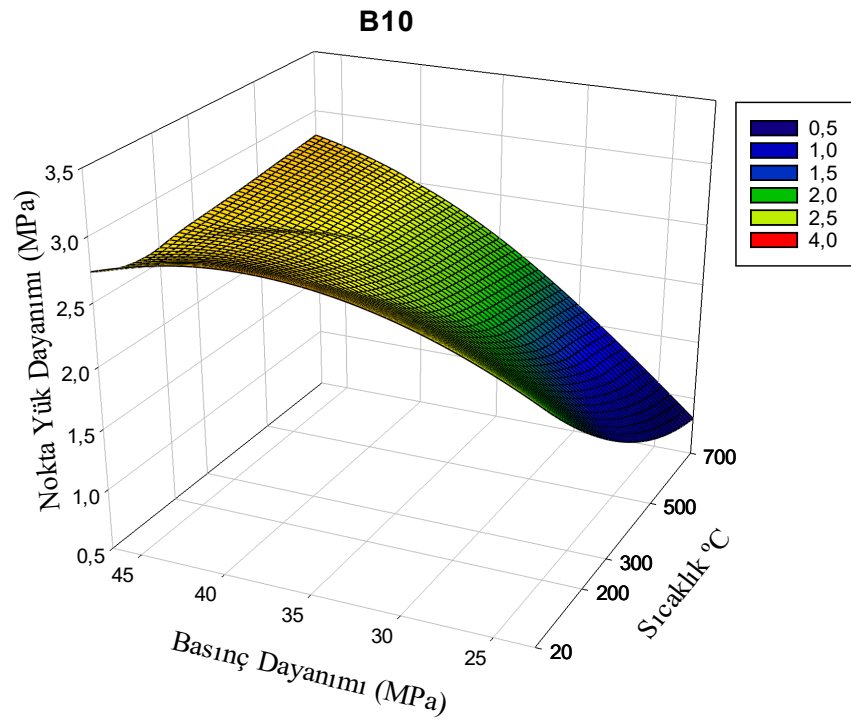
Deney bulguları karşılaştırıldığında katkı miktarının artışı ile birlikte her iki deneyde de sonuçların aşağı yönlü ilerlediği görülmektedir.

5.7.4. Nokta Yük-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması

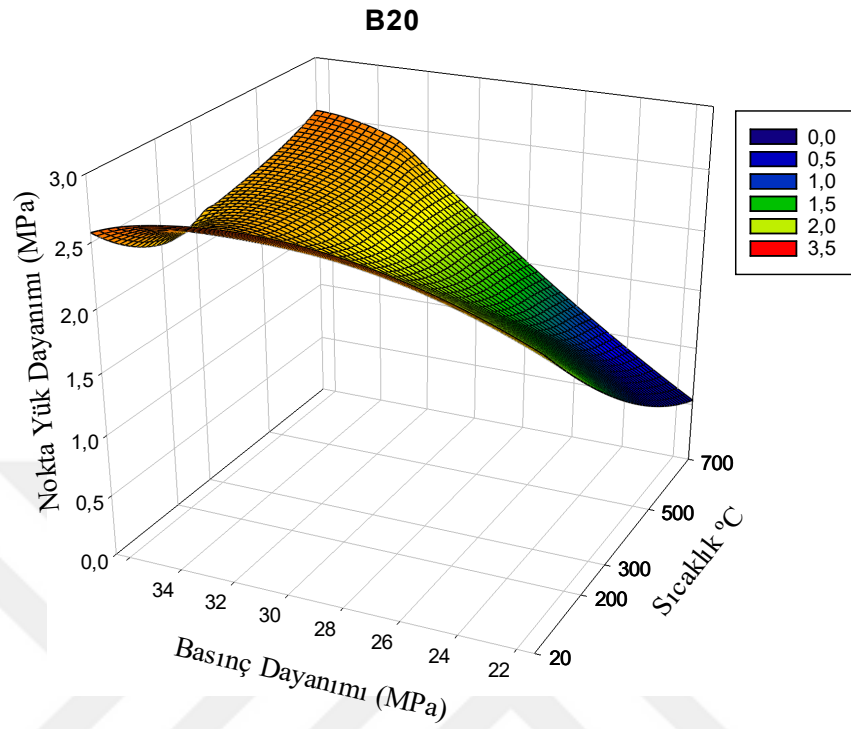
Nokta yük ve basınç dayanımı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.46 – 5.55’de sunulmuştur.



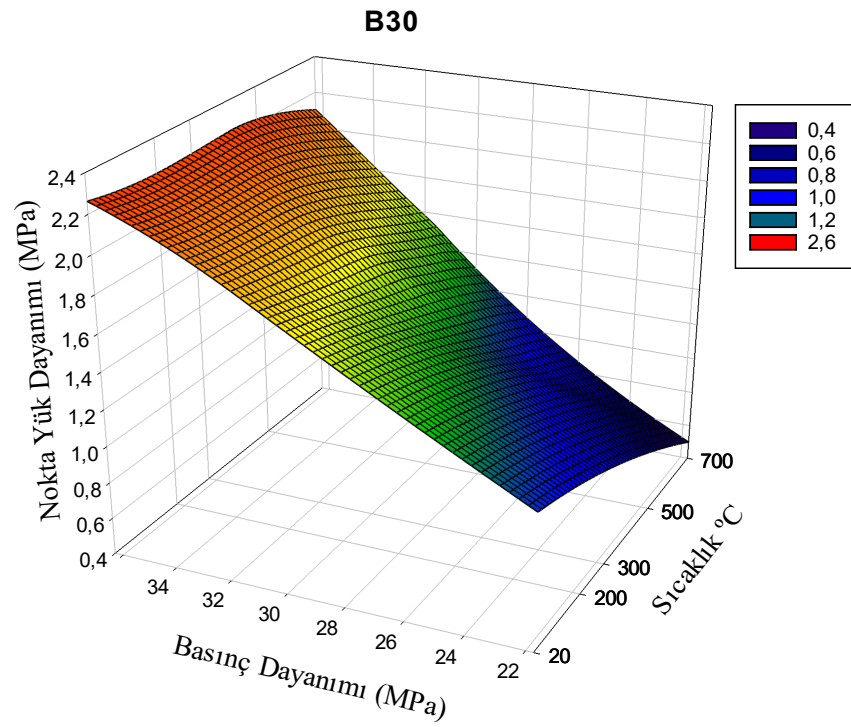
Şekil 5.46 Şahit serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



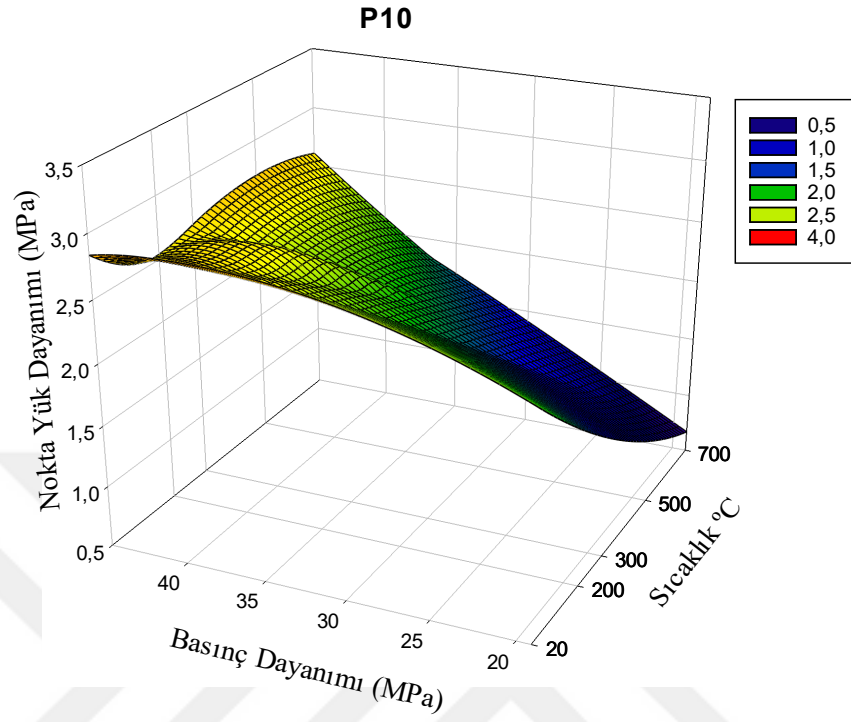
Şekil 5.47 B10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



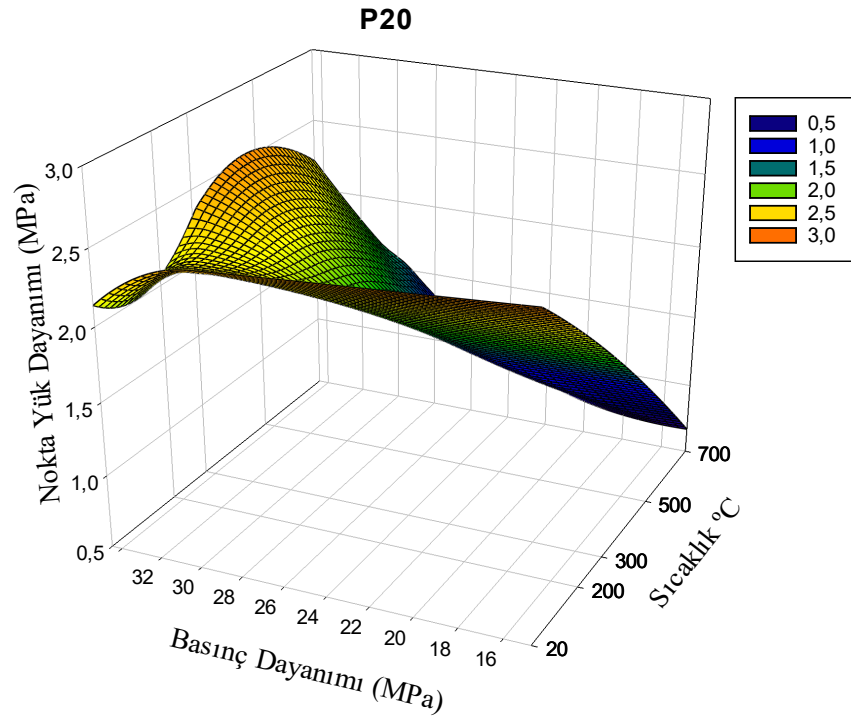
Şekil 5.48 B20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



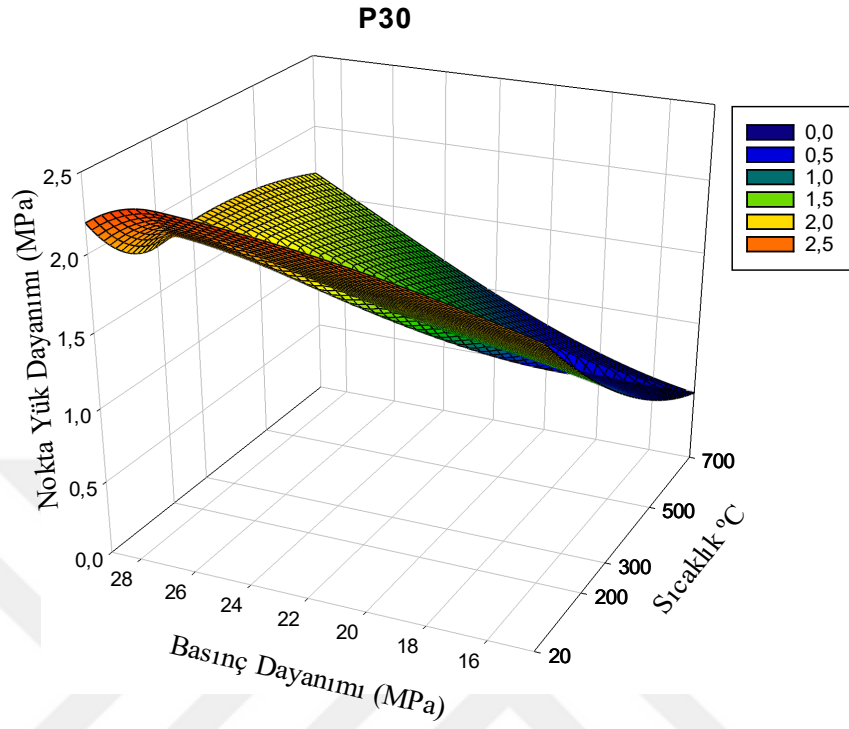
Şekil 5.49 B30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



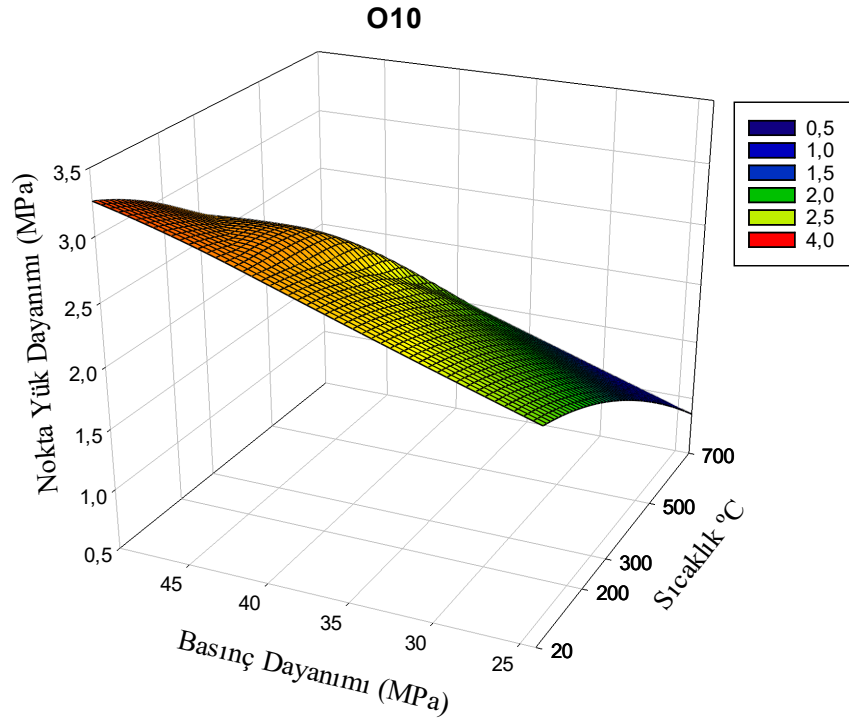
Şekil 5.50 P10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



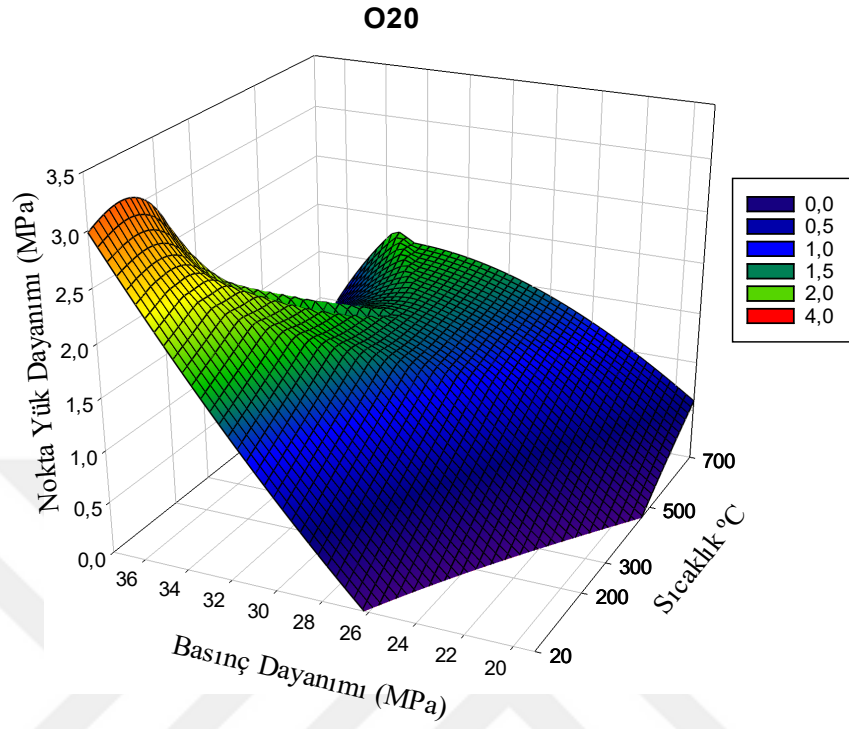
Şekil 5.51 P20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



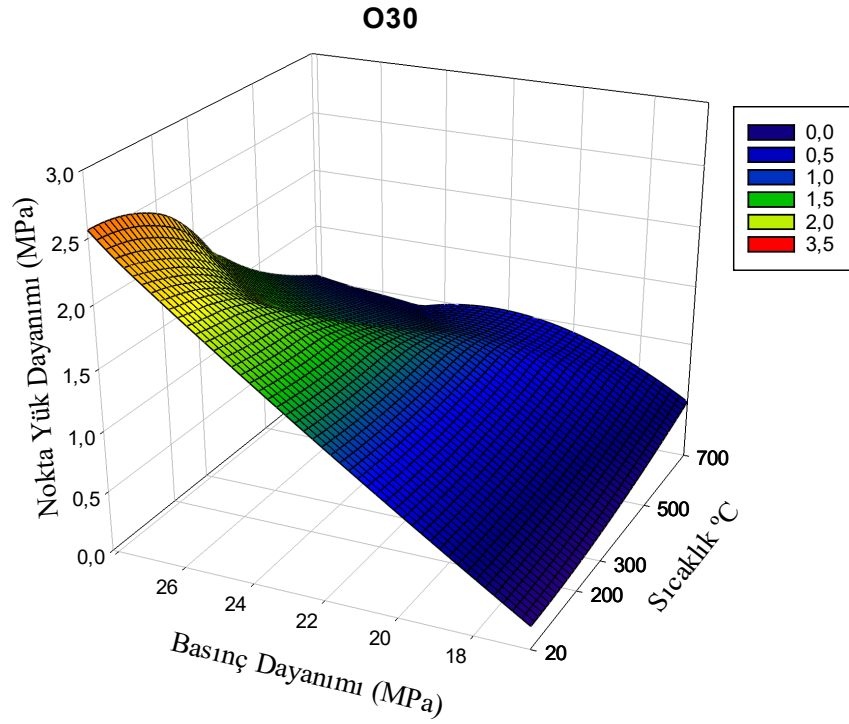
Şekil 5.52 P30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.53 O10 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.54 O20 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları

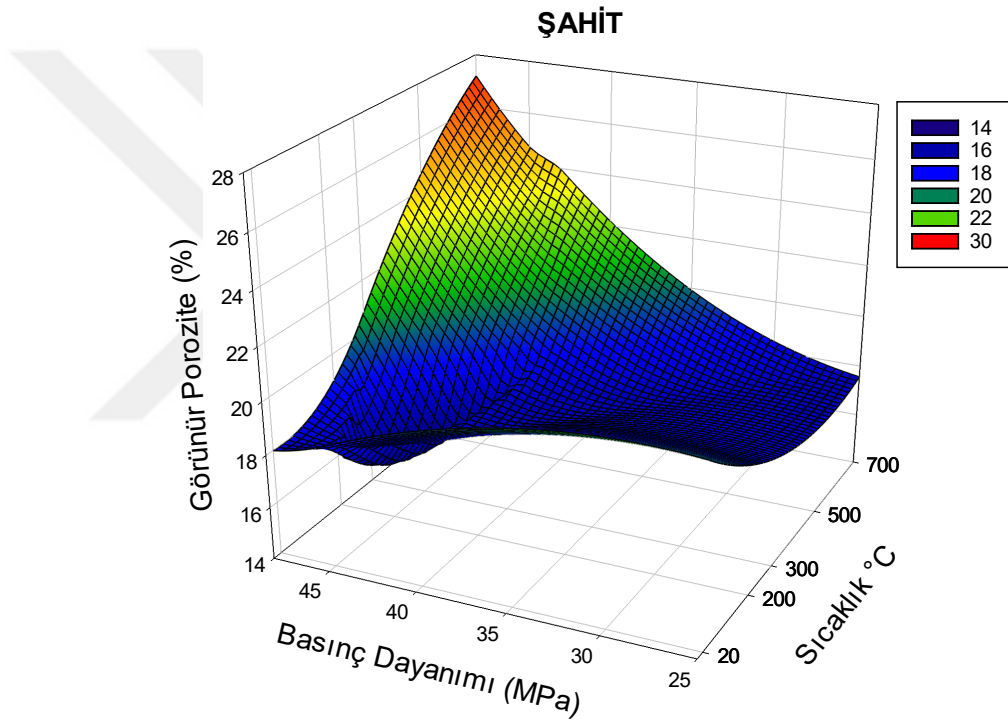


Şekil 5.55 O30 serisi nokta yük-basınç dayanımı sonuçları

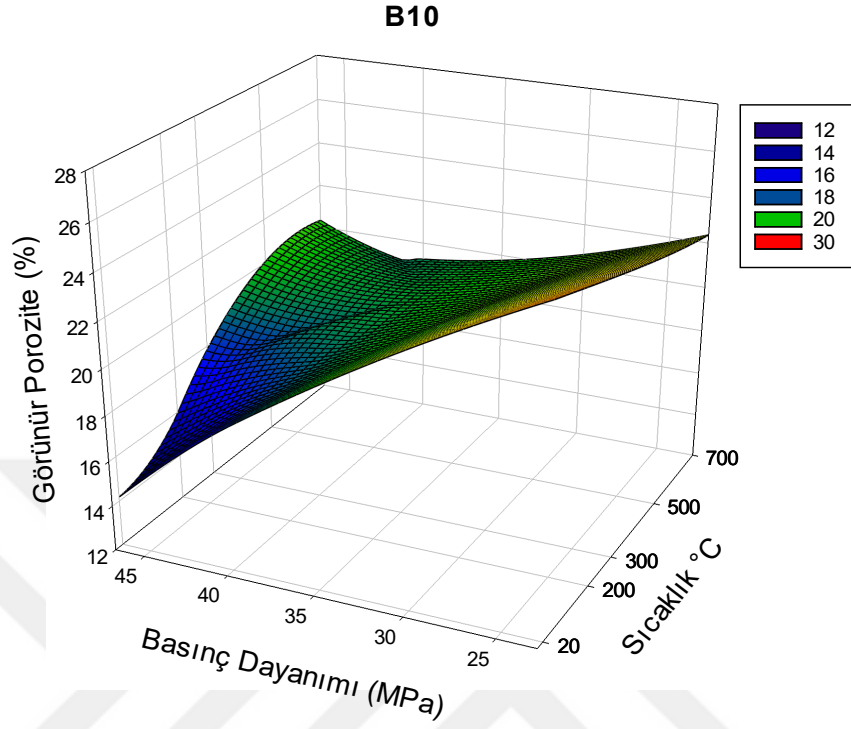
Deney bulguları karşılaştırıldığında katkı miktarının artışı ile birlikte her iki deneyde de sonuçların aşağı yönlü ilerlediği görülmektedir.

5.7.5. Görünür Porozite-Basınç Dayanımı Bulgularının Karşılaştırılması

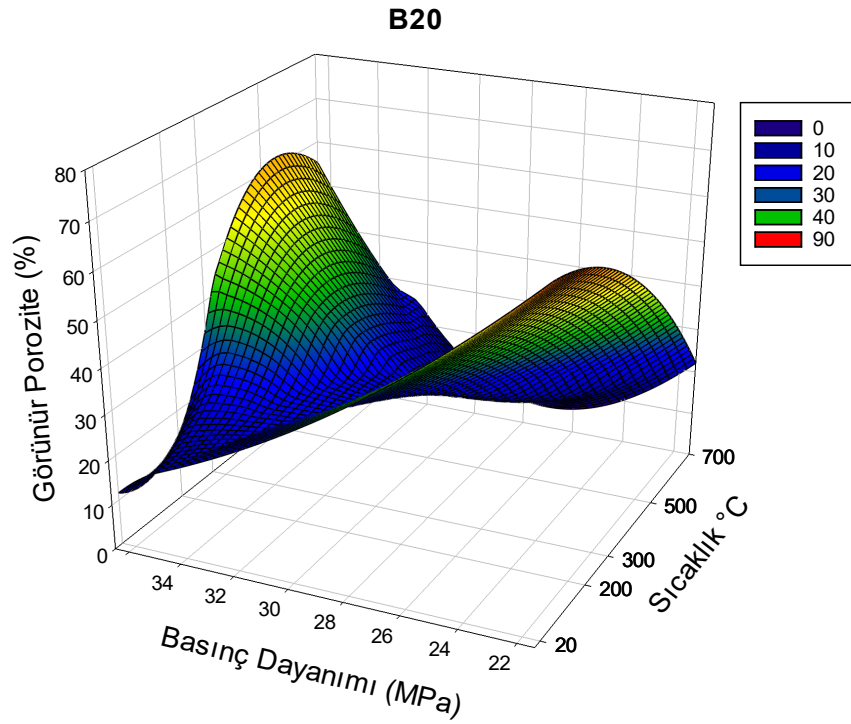
Görünür porozite ve basınç dayanımı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.56 – 5.65’de sunulmuştur.



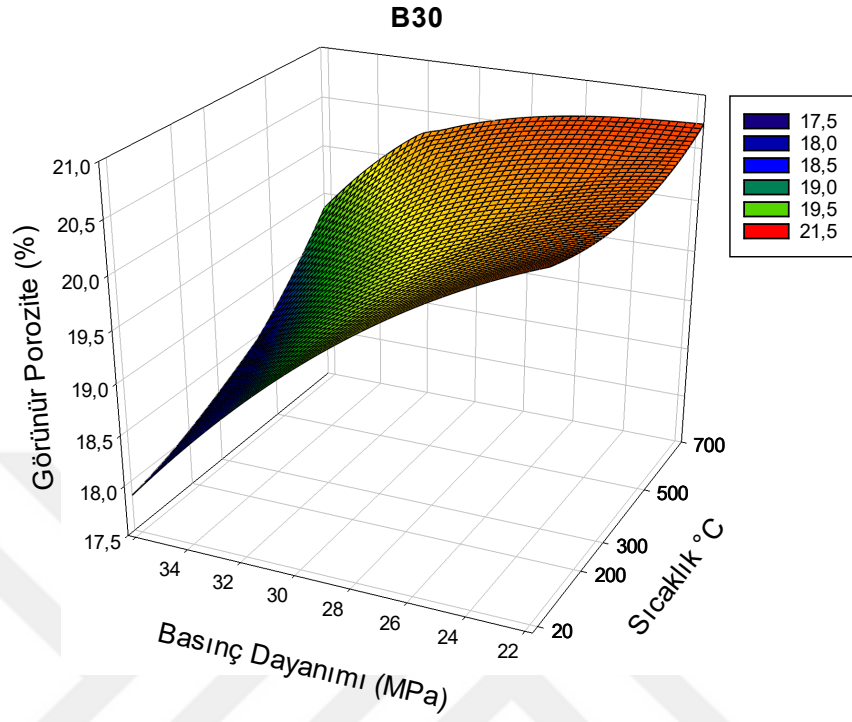
Şekil 5.56 Şahit serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



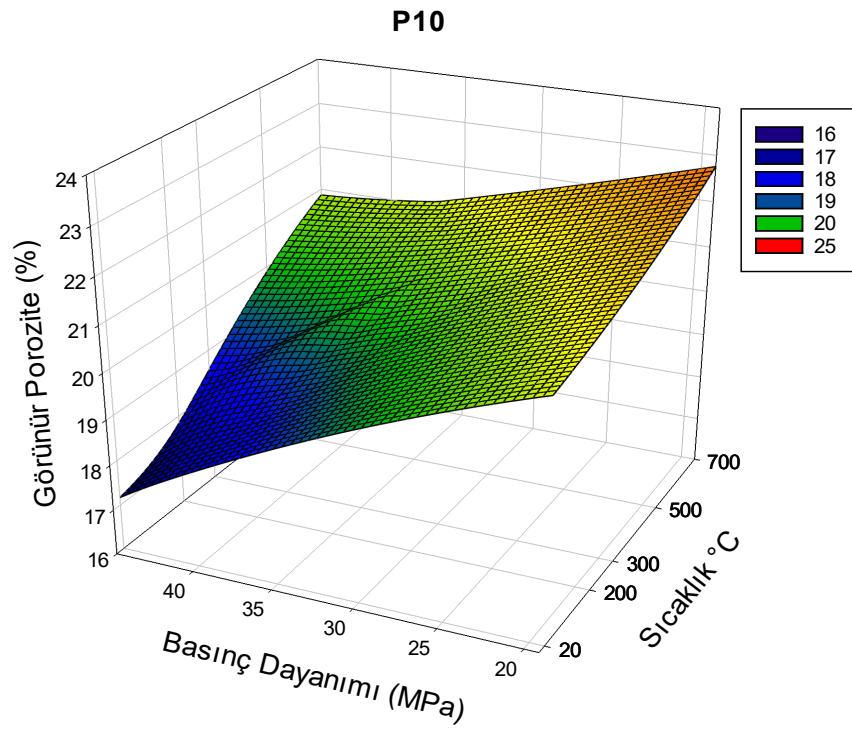
Şekil 5.57 B10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



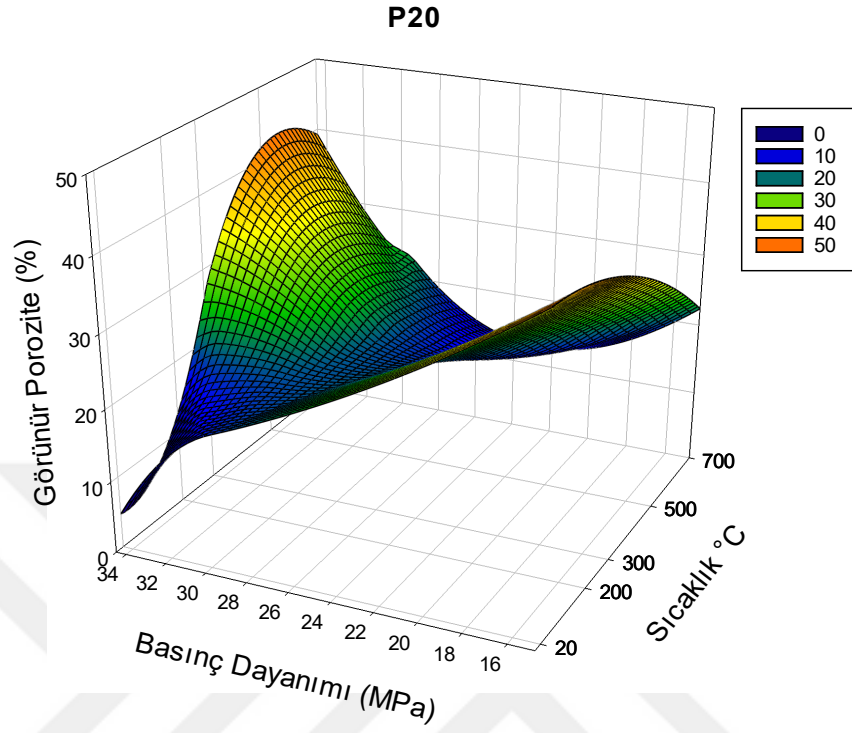
Şekil 5.58 B20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



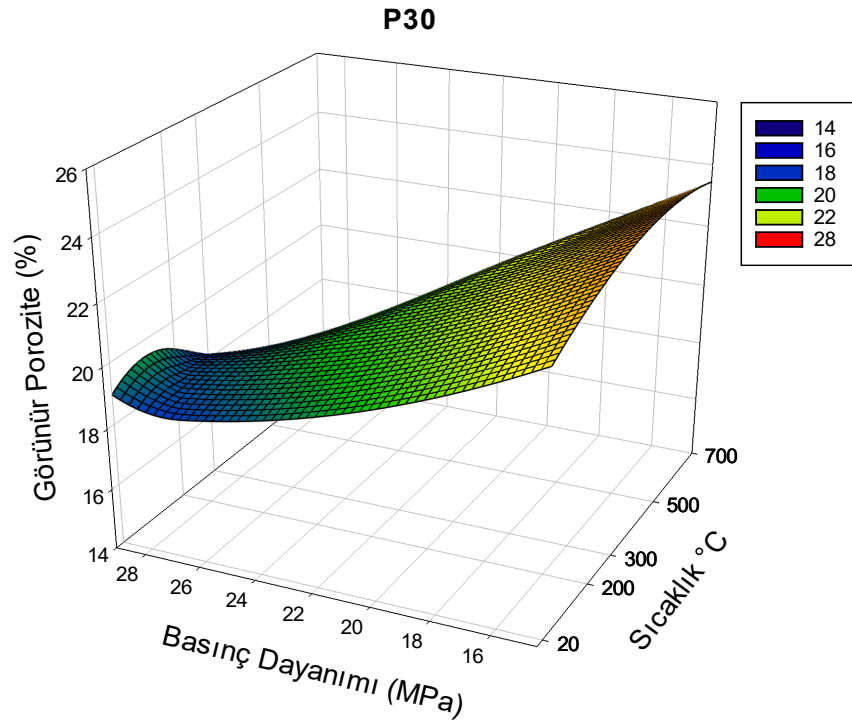
Şekil 5.59 B30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



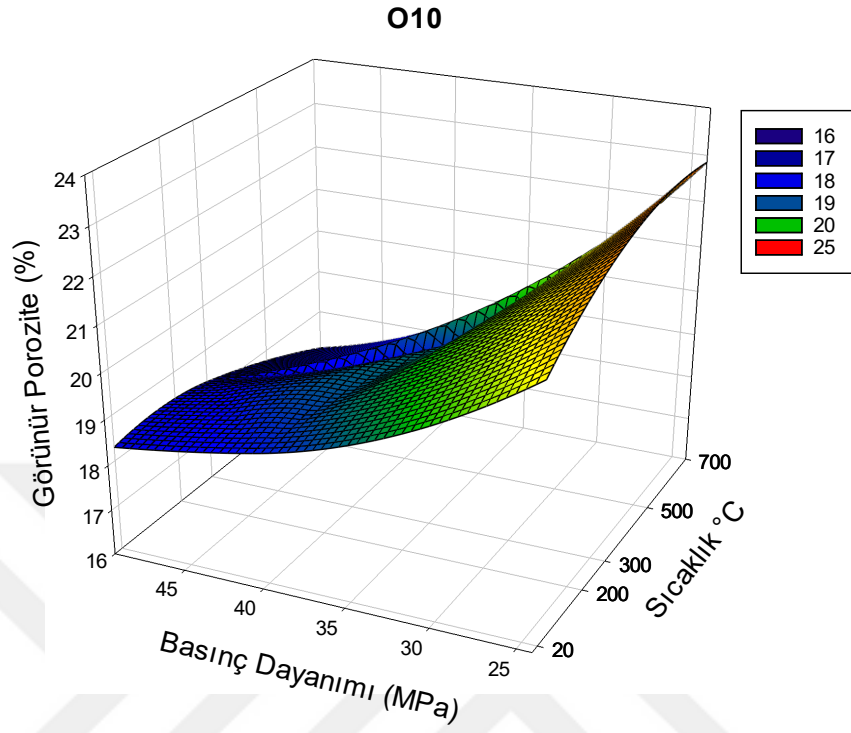
Şekil 5.60 P10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



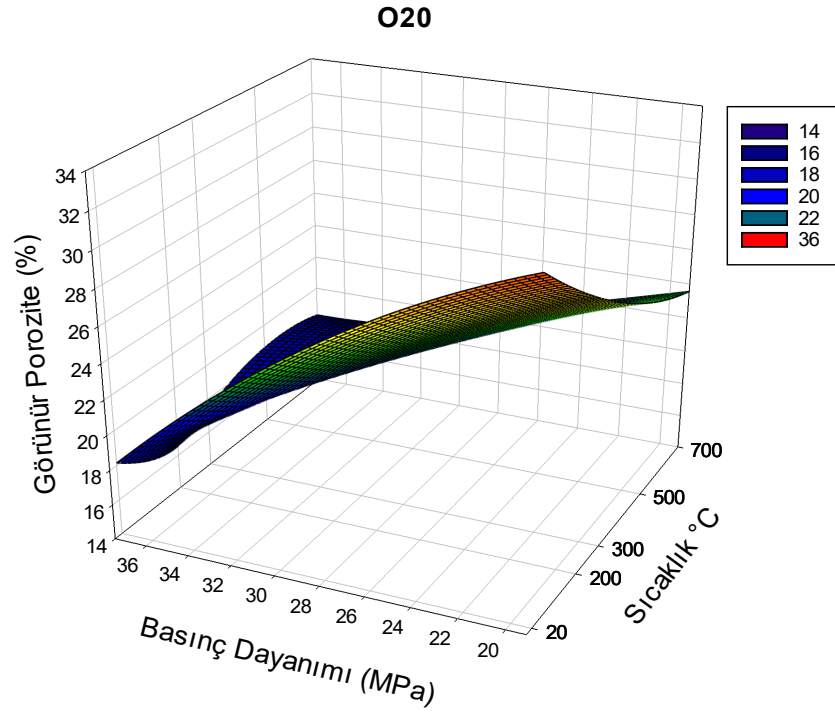
Şekil 5.61 P20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



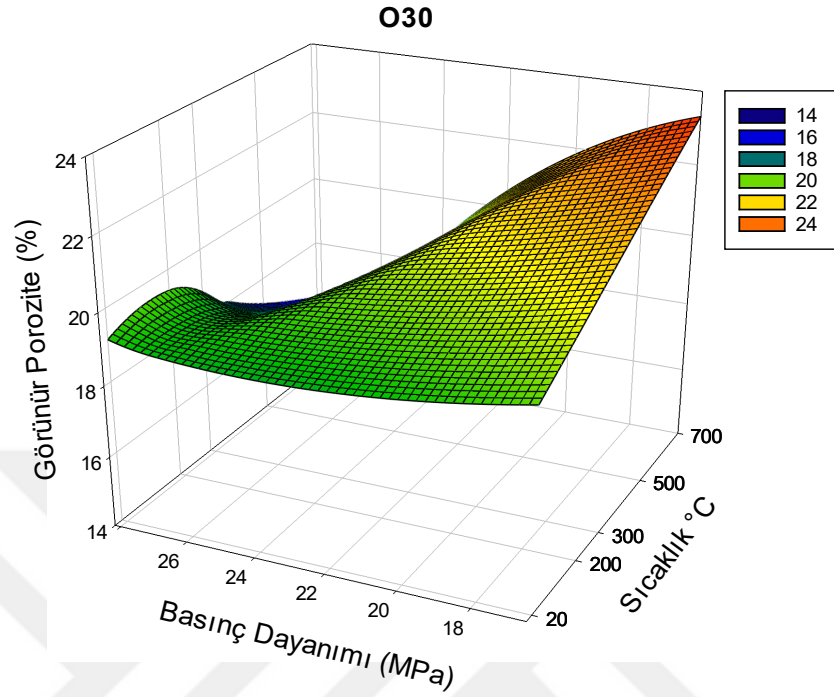
Şekil 5.62 P30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.63 O10 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları



Şekil 5.64 O20 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları

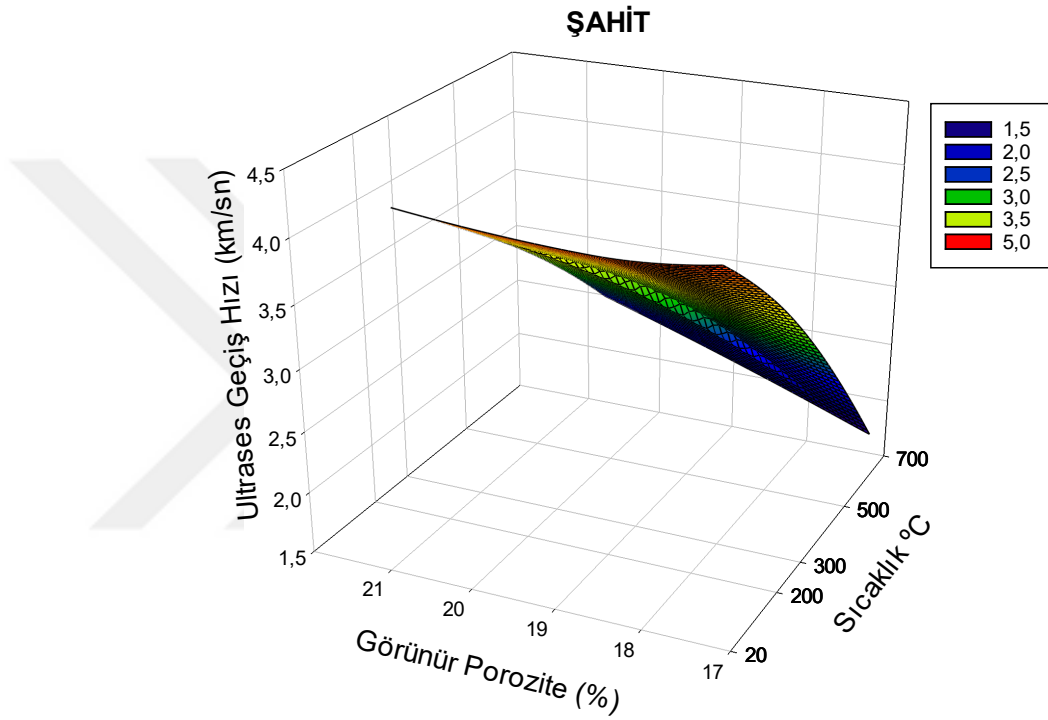


Şekil 5.65 O30 serisi görünür porozite-basınç dayanımı sonuçları

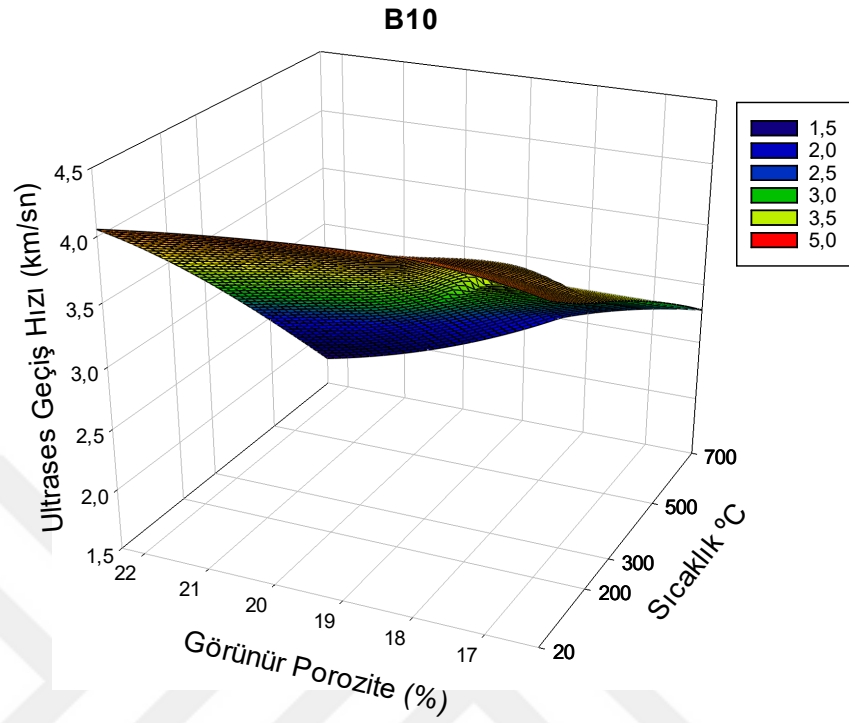
Görünür porozite ve basınç dayanımı sonuçları birlikte incelendiğinde, porozite değişkenliği basınç dayanımını da negatif yönde etkilediği görülmektedir. Porozitede ki artışa bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Çimento hamuru bünyesinde bulunan kalsiyum silikat hidrate (CSH) absorbsiyon suyu ile birbirine bağlanmakta ve yüksek sıcaklıklarda buharlaşmaktadır. Harç sistemi içerisinde buharlaşan su, büzülmele ve çatlak oluşumuna sebep olmaktadır [59]. Buna bağlı olarak harç sistemi içerisinde boşluklar oluşmakta ve porozite değerini arttırmaktadır. Çimento hamuru bünyesindeki porozite miktarının artması basınç dayanımını düşürmektedir [60].

5.7.6. Görünür Porozite-Ultrases Geçiş Hızı Bulgularının Karşılaştırılması

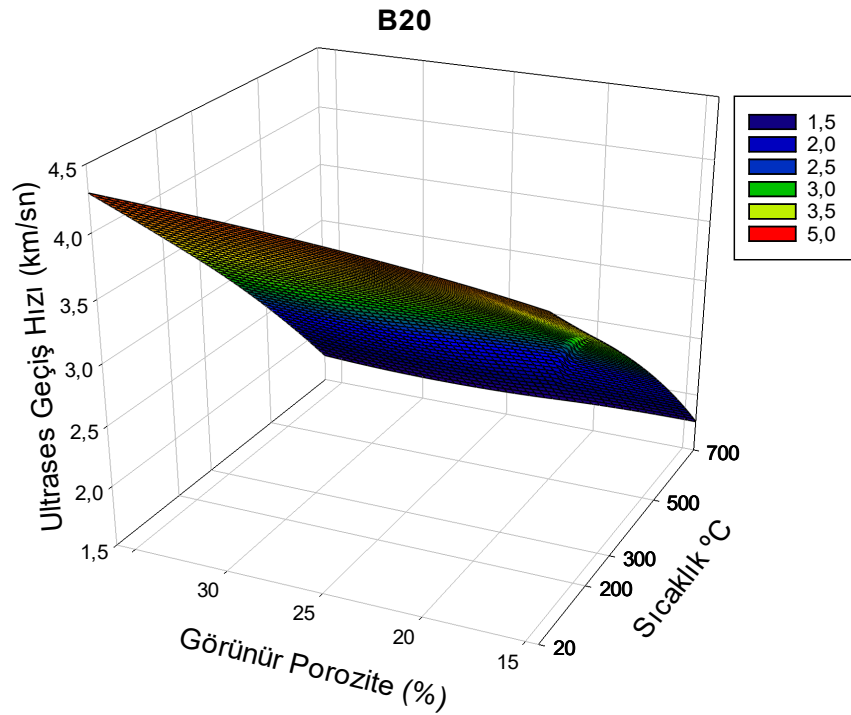
Görünür porozite ve ultrases geçiş hızı deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5.66 – 5.75’de sunulmuştur.



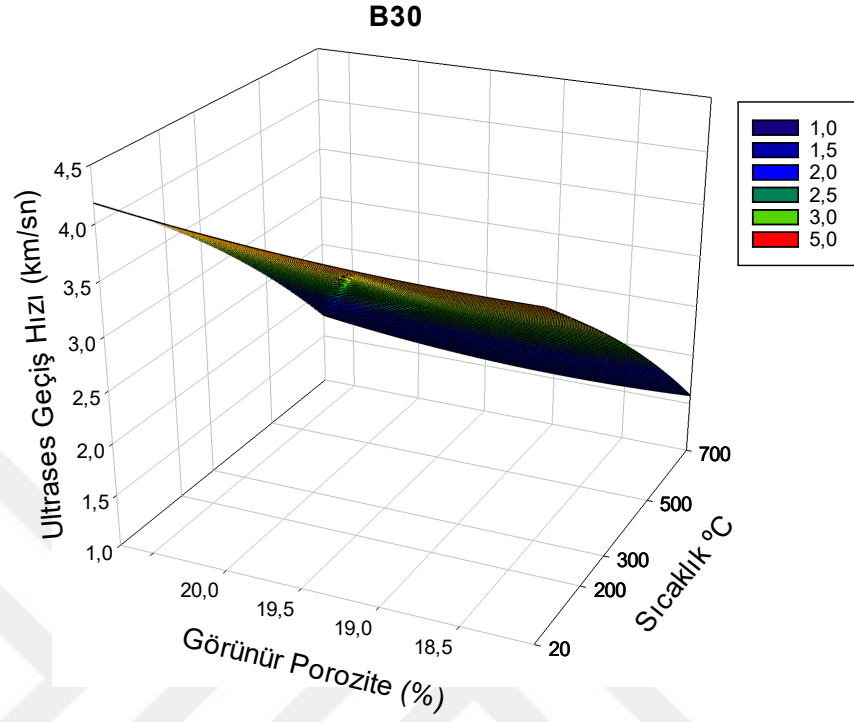
Şekil 5.66 Şahit serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları



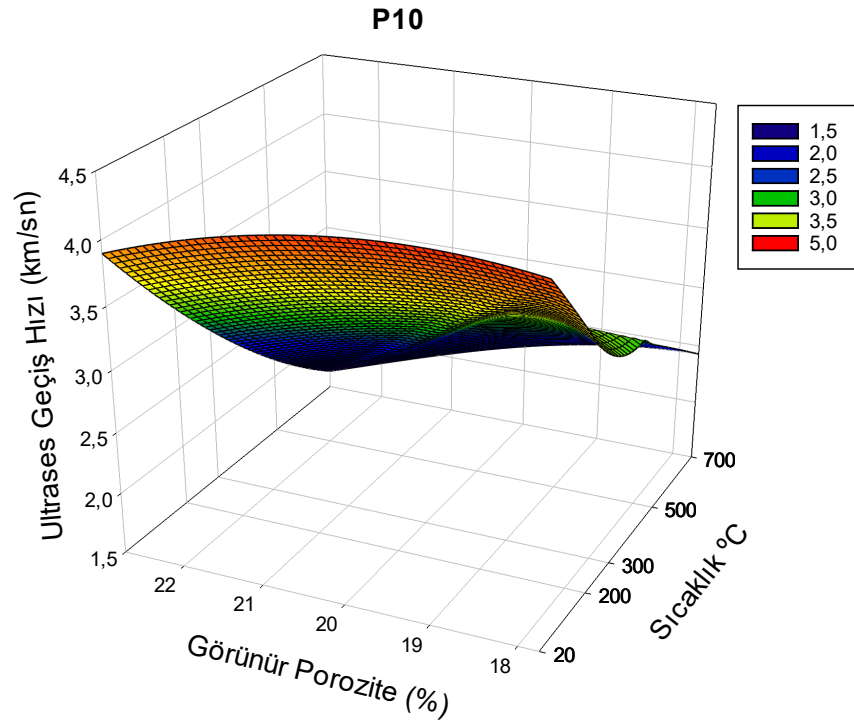
Şekil 5.67 B10 serisi görünür porozite-ultras ses geçiş hızı sonuçları



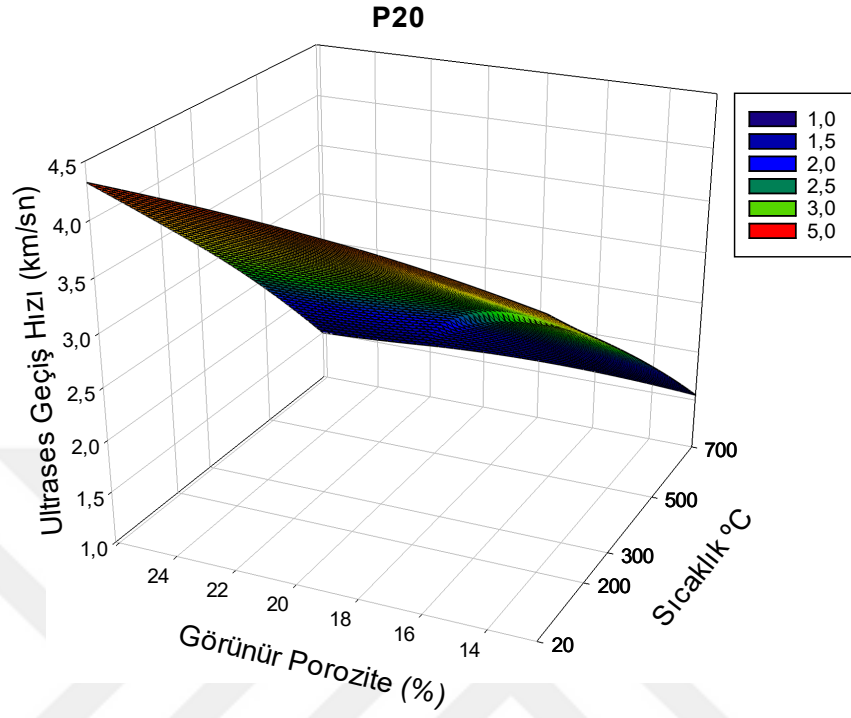
Şekil 5.68 B20 serisi görünür porozite-ultras ses geçiş hızı sonuçları



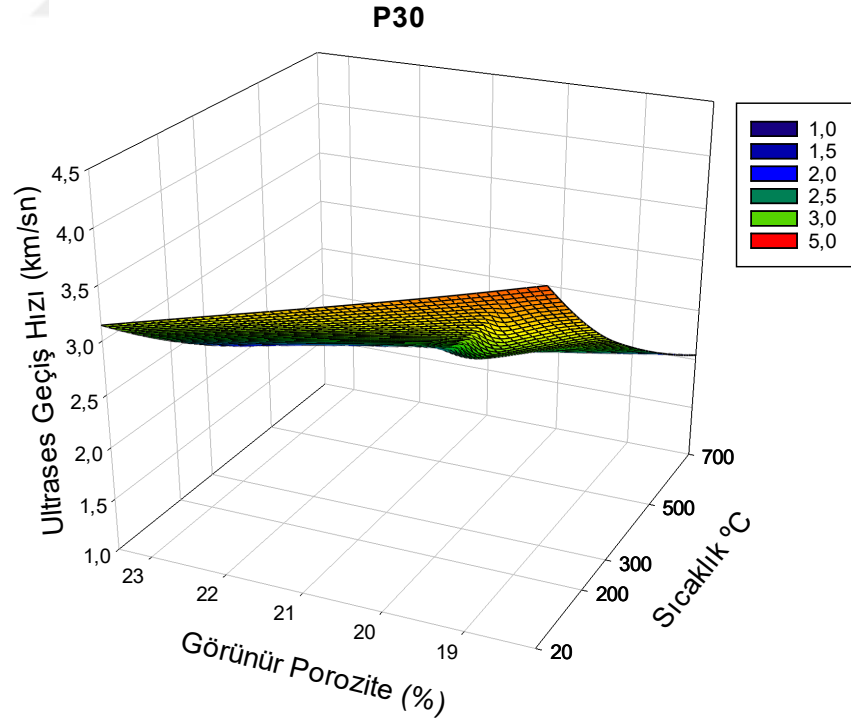
Şekil 5.69 B30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları



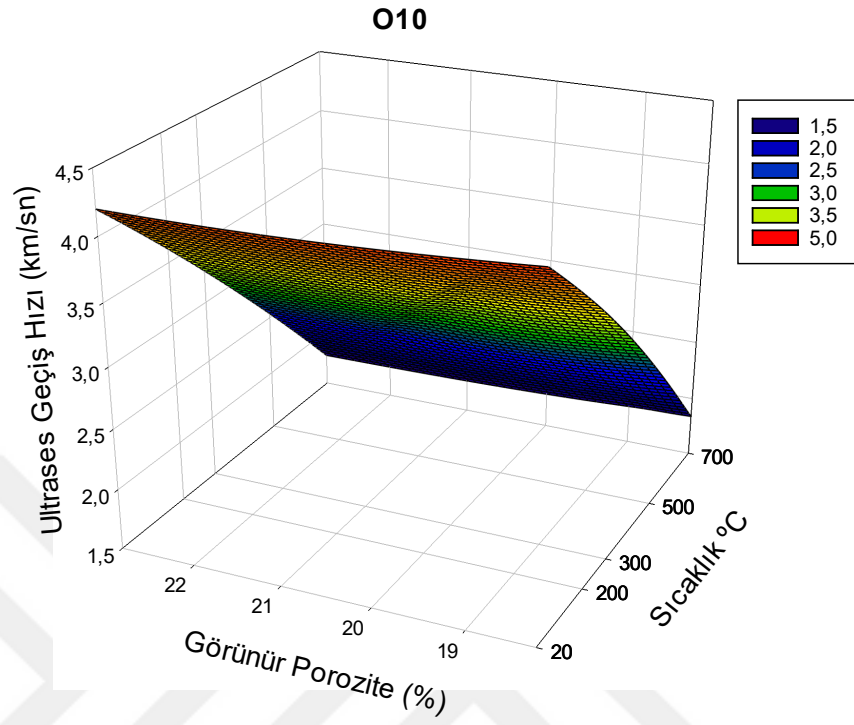
Şekil 5.70 P10 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları



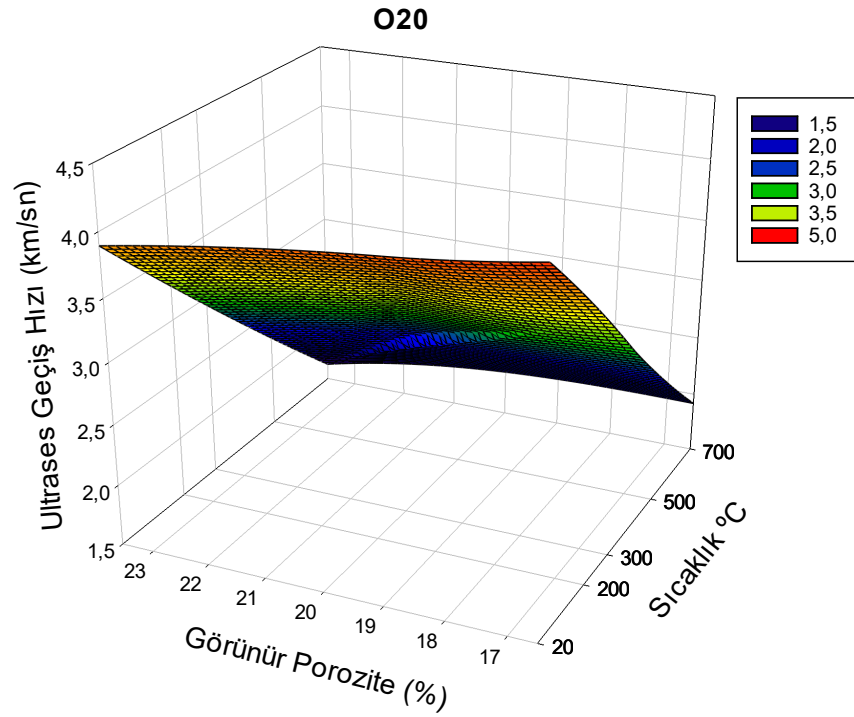
Şekil 5.71 P20 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları



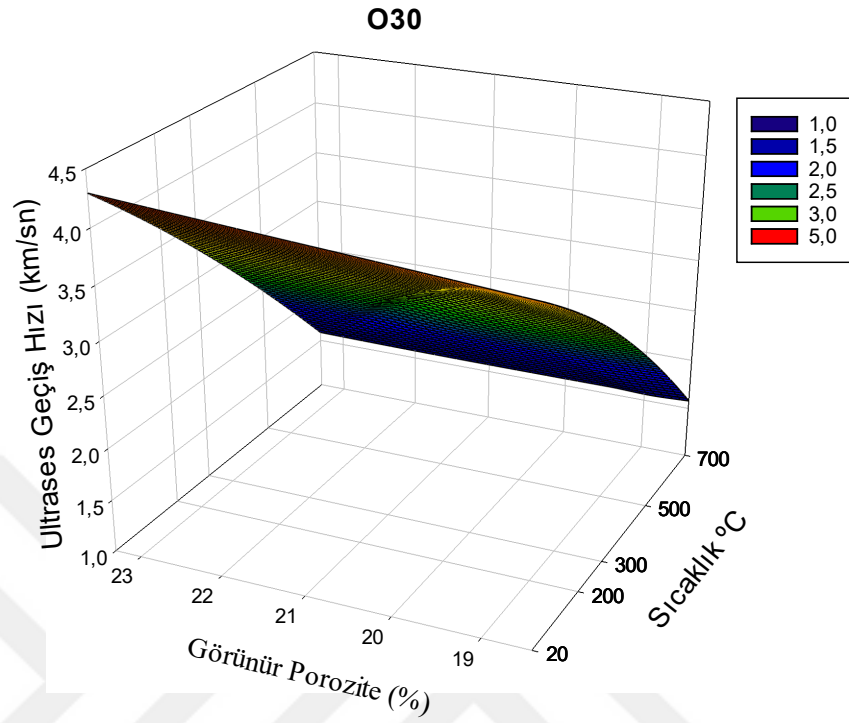
Şekil 5.72 P30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları



Şekil 5.73 O10 serisi görünür porozite-ultras geçiş hızı sonuçları



Şekil 5.74 O20 serisi görünür porozite-ultras geçiş hızı sonuçları



Şekil 5.75 O30 serisi görünür porozite-ultrases geçiş hızı sonuçları

Çimento hamuru içerisinde bulunan çatlaklar yüksek sıcaklık etkisi ile büyüyerek boşluklu bir yapı meydana getirmektedir. Harç sistemi içerisinde kullanılan mineral katkıların boşluklu yapıyı dolduramadığı ve buna bağlı olarak yüksek sıcaklık karşısında porozite miktarının arttığı görülmektedir. Boşluk miktarı artan harç sisteminde ultrases geçiş hızı sonuçlarının da negatif yönde etkilendiği görülmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında bazalt, profillit ve olivin katkılı harç numunelerin yüksek sıcaklık karşısındaki davranışları incelenmiştir. Hazırlanan harç numuneleri içerisine %10, %20 ve %30 oranlarında mineral katkı ilave edilerek şahit numuneler ile karşılaştırılma yapılmıştır. Yüksek sıcaklık davranışlarını belirleyebilmek için şahit numuneler dışında (20 °C), diğer numuneler 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C ve 900 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

Genel olarak bakıldığında mineral katkılı ve katkısız numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek sıcaklık karşısında negatif yönde etkilenmiştir.

Yüksek sıcaklık etkisinden sonra numunelerin birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, numunelerin bünyesinde bulunan suyun buharlaştığı ve hacim artışına neden olduğu düşünülmektedir. Bu duruma bağlı olarak birim hacim ağırlığının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Katkılı numuneler arasında en iyi sonucu %10 katkılı numunelerin verdiği tespit edilmiştir. Katkı miktarının ve sıcaklık etkisinin artışı birim hacim ağırlığının daha fazla azalmasına neden olmuştur. Katkılı numuneler arasında bazalt ve olivin katkılı numuneler benzer sonuçlar göstererek, en az kayıp bu minerallerin bulunduğu numunelerde gerçekleşmiştir. Şahit numuneler katkılı numunelere göre daha iyi sonuç vermiştir.

Ultrases geçiş hızı sonuçları incelendiğinde, sıcaklık etkisine bağlı olarak tüm numunelerin ultrases geçiş hızı sonuçlarında azalış görülmektedir. Şahit numuneler yüksek sıcaklık karşısında katkılı numunelere göre daha iyi performans göstermişlerdir. Katkı ve sıcaklık miktarının artması sonuçları negatif yönde etkilemiştir. Mineral katkılar arasında en iyi performansı bazalt sonrasında ise olivin ve profillit katkılı numuneler göstermiştir.

Eğilme deneyi sonucunda, genel olarak katkı ve sıcaklık miktarının artışı sonuçları negatif yönde etkilemiştir. Katkılı numuneler arasında en iyi sonucu %10 katkılı numunelerin verdiği görülmektedir. %10 ve %30 bazalt katkılı numunelerin, 200 ile 300 °C sıcaklıklarda katkılı şahit numunelerden daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. %10, %20 ve %30 profillit katkılı numuneler 200 °C sıcaklıkta,

katkısız şahit numunelere göre daha iyi dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Belirtilen durumlar dışında şahit numuneler, katkılı numunelere göre daha iyi performans göstermişlerdir.

Basınç deneyi sonucunda, 200 ve 300 °C sıcaklıklarda numunelerin basınç dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. 500 °C ve sonrasında ki sıcaklık değerlerinde basınç dayanımı sonuçları negatif yönde etkilenmiştir. Katkı miktarının artışı sonuçları negatif yönde etkilemiştir. Sıcaklık etkisi harç sistemi içerisindeki boşluk miktarının artmasına ve aynı zamanda harç sistemi içerisinde bulunan kılcal çatlakların büyümesine neden olmuştur. C-S-H jellerinin yapısının hasar görmesi ve oluşan çatlakların mineral katkıları tarafından yeterli şekilde doldurulamaması numunelerin mukavemetinde düşüş görülmesine neden olmuştur. Katkılı numuneler arasında en iyi sonucu %10 katkılı numunelerin verdiği görülmektedir. Katkı miktarının artışı basınç dayanımı sonuçlarını negatif yönde etkilemiştir. Genel olarak mineral katkılı numuneler içinde bazalt katkılı numunelerin daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Katkısız şahit numuneler tüm sıcaklıklarda katkılı numunelere göre daha iyi sonuçlar vermişlerdir.

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan katkılı numunelerin nokta yük dayanım sonuçları değerlendirildiğinde, en iyi performansı %10 katkılı numunelerin gösterdiği tespit edilmektedir. Mineral katkı ve sıcaklık miktarı artışının nokta yük dayanımının düşmesine neden olduğu görülmektedir. Şahit numuneler 200-300-500 °C sıcaklıklarda, katkılı numunelere göre daha iyi performans göstermektedir. 700 °C sıcaklıkta ise şahit numuneler, %10 bazalt ve olivin katkılı numunelerden daha az dayanım göstermiştir.

Yüksek sıcaklık etkisi ile birlikte harç numunelerinin görünür porozite sonuçlarında artış olduğu görülmektedir. Mineral katkıları harç sistemi içerisinde yeterli aderansı sağlayamadıkları için porozite oranının artması engellenememiştir. Yüksek sıcaklık miktarının ve katkı oranının artması porozite değerinin daha fazla artmasına neden olmuştur. Katkılı numuneler içerisinde en düşük porozite değerlerini %10 katkılı numunelerin verdiği görülmektedir. Mineral katkıları arasında ise en düşük porozite değerini bazalt katkılı numunelerin verdiği tespit edilmiştir. Bazalttan

sonra ise çok az fark ile profillit katkılı numunelerin, olivin katkılı numunelere göre daha düşük porozite değerine sahip olduğu görülmektedir.

Yüksek sıcaklık davranışının istenildiği noktalarda kullanılacak bazalt, olivin ya da profillit katkılı harç örneklerde optimum katkı kullanım oranı %10 olarak tavsiye edilebilir.

Yüksek sıcaklığın deformatif etkisinin azaltılmasının araştırılacağı çalışmalarda, farklı bağlayıcı tipleri ile birlikte farklı lif katkılı harç numuneler üzerinde gerçekleştirilecek fiziksel ve mekanik deneylere ilaveten, durabilite davranışlarını yorumlayabilecek laboratuvar çalışmalarının yapılmasının bilim dünyamıza fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] C. Gülce, “Farklı Çimentolarla Üretilen Harçların Yüksek Sıcaklık ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2009.
- [2] F. Kocataşkın, Yapı Malzemesi Bilimi. İstanbul: Birsan Yayınevi, 2000.
- [3] A. Uysal, “Yüksek Sıcaklığı Beton Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2004.
- [4] A. Ergün, G. Kürklü ve M. S. Başpınar, “Yüksek Sıcaklık Sonrası Farklı Sınıflardaki Betonarme Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt. 9, sayı 2, s. 97-103, 2009.
- [5] Ö. Mavi, “Kireç, Harç ve Sıvaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2000.
- [6] M. Eriç, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*. İstanbul: Literatür Yayınları, 2014.
- [7] N. Şengün, “Pomzanın Hafif Harç Yapımında Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2004.
- [8] B. Baradan, H. Yazıcı ve S. Aydın, Beton. İzmir: *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, No: 334, 2012.
- [9] G.A. Khoury, “Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment, *Magazine of Concrete Research*, vol. 44, pp. 291-309, 1992.
- [10] C. Alonso, C. Andrade ve G.A. Khoury, “Porosity and microcracking, International Centre for Mechanical Sciences”, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003.
- [11] M.S. Akman, “Betona Gömülü Çeliğin Korozyonu, Riskin saptanması, Önlemler ve Onarım”, *Sika Teknik Bülten*, cilt. 3, sayı 4, s. 3-10, 2000.
- [12] M. Özdemir, N. U. Öztürk, “Utilization of Clay Wastes Containing Boron as Cement Additives”, *CRR Journal*, vol 33, pp. 1659-1661, 2003.
- [13] İ. Y. Elbeyli, “Boraks ve Borik Asit Üretiminde Ortaya Çıkan Katı Atıkların Çimento Sanayisinde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2000.
- [14] N. Ediz, “Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 1994.
- [15] H. Genç, A. P. Ayas and N. Yaylı, “Protecting Environment: Evaluation Techniques for Waste-Mud Produced by Boric Asid and Borax Factories”, *Journal of Qafqaz University*, vol. 1, 1997.
- [16] S. T. Erdoğan, T. Y. Erdoğan, “Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri”, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 2007, s. 263-275.
- [17] R. W. Le Maitre, *Igneous Rocks: A Glossary of Terms*. New York: Cambridge University Press, 2008.
- [18] A. Erçin Kahveci, “Diyarbakır Yöresinde Bazalt Taşının Yapı Malzemesi Olarak Kullanımının İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2008.
- [19] E. T. Kocabeyoğlu, “Bazalt Lif İçeren Yüksek Dayanımlı Harçların Yüksek Sıcaklık Dirençleri”, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, 2016.

- [20] M. Doğruyol, “Diyarbakır Bazaltının Mineral Katkılar ile Kullanılmasının Betonun Dayanım ve Dayanıklılığına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 2017.
- [21] Y. Erkan. Magmatik Petrografi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendislik Bölümü Yayını, 1995.
- [22] R. Yılmaz, “Malatya Yöresi Profillitin Karekterizasyonu ve Vitrikiye Bünyede Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 2007.
- [23] A. A. Pradhan, M. Das, S. Goswami, “Economic Potential of Pyrophyllite Deposits of Keonjhar as Industrial Mineral”, *Vistas in Geological Research*, vol.13, pp. 86-90, 2015.
- [24] H. Özkaya, “Malatya Pütürge Yöresinde Çıkarılan Profillit Malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2011.
- [25] R. Aydoğmuş, “Zenginleştirilmiş Malatya-Pütürge Profillit Cevherinin Alümina Üretimi için Aktifleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 2019.
- [26] N. Kızılkaya, “Profillitin Seramik Bünyelerde Kullanım Özelliklerinin Araştırılması ve Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, 2011.
- [27] N. Özkarakaşoğlu, “Amino Modifiye Sililleştirilmiş Olivinin Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 2006.
- [28] Ö. Çoban, “Krom ve Olivin Atıklarının Betonda Kullanımının Durabilite Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2014.
- [29] N. Aydın, “Plazma Sprey Kaplamada Olivinin Değerlendirilmesi ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2008.
- [30] Ö. Küçüköğlu, “Yerli Olivin Cevherinden Refrakter Malzemeye Uygun Hammadde Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [31] S. Aydın, H. Yazıcı and B. Baradan, “High Temperature Resistance of Normal Strength and Autoclaved High Strength Mortars Incorporated Polypropylene and Steel Fibers”, *Construction and Building Materials*, Vol.22, no.4, pp.504-512, 2008.
- [32] G. Durmuş, “Çimentolu Harç Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2008.
- [33] A. H. Sevinç, “Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların ve Betonların Mühendislik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 2011.
- [34] M. Kaya, “Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Silis Dumanı Katkılı-Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri”, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, 2011.
- [35] S. Z. Teker, “Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, 2012.
- [36] B. Gökçer, “Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkılı Çimento Harçlarının Aşınma, Yüksek Sıcaklık ve Donma-Çözülme Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisan Tezi, Fırat Üniversitesi, 2013.
- [37] H. Karagöz, “Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2013.

- [38] F. Koç, “Yüksek Sıcaklık Uygulanmış Harç Çubuklarının Farklı Soğutma Koşulları ve Farklı Çimento Türlerindeki Boşluk Yapısının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2014.
- [39] Y. Kaya, “Polimerle İyileştirilmiş Harçların Farklı Kür Koşulları ve Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, 2014.
- [40] T. Nazlı, “Genleştirilmiş Vermikülit Tozu ile Modifiye Edilmiş Çimento Esaslı Harçların Yüksek Sıcaklık Dirençleri”, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, 2018.
- [41] M. S. Yıldırım, “Silis Dumanı, Çelik ve Bazalt Liflerin Harçların Mekanik Özelliklerine Ortak Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, 2019.
- [42] H. A. Toprak, “Öğütülmüş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların Yüksek Sıcaklık Direnci”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 2020.
- [43] “TS EN 197-1”, Çimento-Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, 2002.
- [44] “TS EN 196-1”, Çimento Deney Metotları-Dayanım Tayini, 2002.
- [45] “TS EN 12390-7”, Vota.com.tr, <http://vota.com.tr/assets/ts-en-12390-7.pdf>. [Erişim tarihi: 23 – Şubat 2021].
- [46] T.Y. Erdoğan, *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, 2013.
- [47] R. Ulusoy, C. Gökçeoğlu ve A. Binal, *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2005.
- [48] TS-EN 772-4, Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [49] S. B. Sutono, S. H. Abdul-Rashid, H. Aoyama and Z. Taha, “Fuzzy-based Taguchi method for multi-response optimization of product form design in Kansesi engineering: a case study on car form design”, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol.10, no.9, 2016.
- [50] S. Erbayrak, E. Erbayrak, “Determination of the Impact Damage Threshold Point of Composite Material Using Fuzzy-Base Taguchi Method”, *Journal of Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 153-171, 2020.
- [51] B. Dünder, Emriye Çınar ve Harun Özkaya, “Profillit Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, cilt.8, sayı.2, s.17-27, 2019.
- [52] F. Aköz, N. Yüzer ve S. Koral, “Portland Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri”, *İMO Teknik Dergi*, cilt. 6, sayı. 26, 1995.
- [53] B. Uçarkoşar, “Pirinç Kabuğu Katkılı Yüksek Dayanımlı Betonun Yüksek Sıcaklık Performansı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2013.
- [54] S. Subaşı, B. İşbilir, İ. Ercan, “Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi”, *Polietnik Dergisi*, Cilt.14, sayı.2, s.141-148, 2011.
- [55] W.P.S. Dias, D.A. Khoury and P.J.E. Sullivan, “Mechanical Properties of Hardened Cement Paste Exposed to Temperatures Up to 700 °C (1292 °F)”, *ACI Materials Journal*, vol.8, no.2, pp.160-166, 1990.

- [56] M.S. Morsy, A.F. Galal and S.A. Abo-Elenein, “Effect of Temperature on Phase Composition and Microstructure of Artificial Pozzolona-Cement Pastes Containing Burnt Kaolinite Clay”, *Cement and Concrete Research Journal*, vol.28, no.8, pp.1157-1163, 1998.
- [57] M.S. Cülfik, “Deterioration of Bond Between Cement Paste and Aggregate at High Temperatures” PhD Thesis, Boğaziçi University, 2001.
- [58] E. Nas, N. A. Ozbek, “Optimization the Machining Parameters in Turning of Hardened Hot Work Tool Steel Using Cryogenically Treated Tools”, *Surface Review and Letters*, vol.27, no.5, 2019.
- [59] B.A. Schrefler, P. Brunello, D. Gawin, C. E. Majorana and F. Pesavento, “Concrete at high temperature with application to tunnel fire”, *Computational Mechanics*, vol.29, pp.43-51, 2002.
- [60] F.Vodak, K. Trtik, O. Kapickova, S. Hoskova and P. Demo, “The Effect of Temperature on Strength-Porosity Relationship for Concrete”, *Construction and Building Materials Journal*, vol.18, pp.529-534, 2004.