



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İGNİMBİRİT TAŞ OCAĞI ATIKLARINDAN ISIL İŞLEM YOLUYLA ELDE
EDİLEN YAPAY TAŞLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

SAADET ŞAHİN

Mayıs 2018

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İGNİMBİRİT TAŞ OCAĞI ATIKLARINDAN ISIL İŞLEM YOLUYLA ELDE
EDİLEN YAPAY TAŞLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

SAADET ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Ahmet BİLGİL

Mayıs 2018

Saadet ŞAHİN tarafından Doç. Dr. Ahmet BİLGİL danışmanlığında hazırlanan “İgnimbirit Taş Ocağı Atıklarından Isıl İşlem Yoluyla Elde Edilen Yapay Taşların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Doç. Dr. Ahmet BİLGİL (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



Üye : Doç. Dr. Burak UZAL (Abdullah Gül Üniversitesi)



Üye :Dr. Öğr. Üyesi Hasan Erhan YÜCEL (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.


Saadet ŞAHİN

ÖZET

İGNİMBİRİT TAŞ OCAĞI ATIKLARINDAN ISIL İŞLEM YOLUYLA ELDE EDİLEN YAPAY TAŞLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ŞAHİN, Saadet

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Doç. Dr. Ahmet BİLGİL

Mayıs 2018, 86 sayfa

Kapadokya bölgesi formasyonunu oluşturan Kızılkaya ignimbiriti çok geniş bir alanda yayılım göstermekte ve geçmişten günümüze kadar yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Halen işletilen ocaklarda ise ignimbiritin bünyesel özelliklerinden dolayı depolanamaz miktarda atıklar oluşmaktadır. Bu çalışma, taş ocaklarında oluşan atıklara çözüm üretmek ve endüstriye kazandırılmak amacı ile yapılmıştır. Taş ocağı atığı öğütülmek sureti ile farklı oranlarda alçı ile karıştırılarak numuneler üretilmiş, 900-1200 °C aralığında ısıtılarak üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. En önemli teknolojik özelliklerinden biri olan tek eksenli basınç gerilme değerleri 7,50-36,62 MPa aralığında bulunmuştur. Elde edilen ürünün ekonomik, fiziksel ve mekanik özelliklerine göre optimum karışım % 15 alçı katkılı ve 1100 °C'de kürlenmiş örneklerden elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ocak taşına nazaran, ürünün teknolojik yönden daha üstün değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma ile çevre kirliliği oluşturan ve çözülmesi gereken bir sorun olarak duran atıklar, endüstriye kazandırılarak yapı sektöründe kullanılabilir inovatif bir ürüne dönüştürülmüştür.

Anahtar Sözcükler: İgnimbirit, taş ocağı atıkları, yapay taş, termal analiz

SUMMARY

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ARTIFICIAL STONES OBTAINED THROUGH HEAT TREATMENT FROM İGÑİMBİRİT STONE WASTE

ŞAHİN, Saadet

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr Ahmet BİLGİL

May 2018, 86 Pages

The Kızılkaya ignimbirite forming the Cappadocia region formation is spreading over a very wide area and is used as building stone from the past to the present day. In the quarries that are still in operation, waste is generated in an amount that can not be stored due to the inherent characteristics of ignimbrite. This study was carried out with the aim of producing solutions to the wastes formed in stone quarries and getting them to the industry. Stone quarry waste is milled and mixed with gypsum at different rates to produce samples. The physical and mechanical properties of the produced samples are determined by heat treatment at 900-1200 °C. One of the most important technological features, the uniaxial compressive stress values are found in the range of 7,50-36,62 MPa. According to economic, physical and mechanical properties of the obtained product, the optimum mixture was obtained from samples cured in 15% plastered and 1100 °C. According to the results obtained without working, it is determined that the product has superior values compared to the quarry stone. With this work, wastes which constitute environmental pollution and which are a problem to be solved have been converted into an innovative product which can be used by the industry and used in the building sector.

Keywords: İgnimbirit, stone quarry waste, artificial stone, thermal analysis

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, Niğde İli Kızılkaya ignimbirit formasyonunda bulunan Aktaş Kasabası taş ocağı atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Üretilen numuneler 900-1200°C aralığında ve farklı sinterleme süresince ısı işleme tabi tutularak, birim hacim ağırlık, aksenal basınç dayanımı, aşınma dayanımı, ısı iletkenliği, özgül ağırlık, su emme, kompasite, görünür porozite, porozite, donma-çözülme deneyleri ile dayanıklılık mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Atıklardan suni olarak üretilen, 1100 °C ve üzeri sıcaklıklarda sinterlenen yapı malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin, işletilmekte olan Aktaş Kasabası doğal taş ocağının fiziksel ve mekanik özelliklerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ahmet BİLGİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca benden her türlü desteklerini esirgemeyen ve her zaman her konuda yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II GENEL BİLGİ.....	4
2.1 Bölge İgnimbiritlerinin Jeolojisine Yönelik Yapılan Çalışmalar	6
2.2 Bölge Taş Ocakları İle İlgili Çalışmalar.....	19
BÖLÜM III MATERYAL METOD.....	25
3.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	25
3.2 Materyal.....	25
3.2.1 Materyalin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	26
3.2.2 Alçı.....	29
3.2.3 Su.....	30
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMA.....	31
4.1 Giriş.....	31
4.2 Birinci Aşama Deneysel Çalışma.....	31
4.2.1 Hammadde hazırlama.....	32
4.2.2 Numune üretimi.....	32
4.2.3 Şekillendirme.....	35
4.2.4 Kurutma.....	36
4.2.5 Pişirme.....	37
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
5.1 Birinci Aşama Deneysel Bulgular.....	39
5.1.1 Eksenel basınç gerilmesi.....	39
5.1.2 Birim hacim ağırlık tayini.....	48

5.2 İkinci Aşama Deneysel Bulgular.....	56
5.2.1 Birim hacim ağırlık	57
5.2.2 Eksenel basınç gerilmesi.....	58
5.2.3 Özgül ağırlık.....	58
5.2.4 Aşınma dayanımı.....	59
5.2.5 Su emme.....	61
5.2.6 Görünür porozite.....	62
5.2.7 Porozite.....	63
5.2.8 Komposite.....	63
5.2.9 Isı iletkenliği.....	63
5.2.10 Dona dayanıklılık.....	64
5.3 Sonuçların İrdelenmesi.....	70
BÖLÜM IV SONUÇ.....	73
KAYNAKLAR.....	76
ÖZ GEÇMİŞ.....	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kızılkaya formasyonu lokasyonunda işletilen taş ocaklarının fiziksel ve mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 2.2. Kızılkaya ignimbiritine ait örneklerin kimyasal analiz sonuçları.....	17
Çizelge 3.1. XRD analizi.....	27
Çizelge 3.2. Aktaş numunesinin kimyasal içeriği.....	27
Çizelge 3.3. Kızılkaya formasyonu aktaş yerleşkesi taş ocağı ignimbiritinin fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.4. Alçının kimyasal analizi.....	30
Çizelge 4.1. Karışıma giren numune miktarları.....	34
Çizelge 4.2. Karışım oranlarına ve pişirme derecelerine göre numune sayıları.....	35
Çizelge 5.1. Eksenel basınç gerilmeleri.....	42
Çizelge 5.2. Birim hacim ağırlığı.....	49
Çizelge 5.3. Pişirme sürelerine göre numune sayıları.....	57
Çizelge 5.4. Taş ocağı atığından üretilen suni taşın fiziksel ve mekanik özellikleri...	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çalışma alanının jeolojik haritası	7
Şekil 3.1. Malzemenin elek analizi.....	29
Şekil 5.1. % 0 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	42
Şekil 5.2. % 5 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	43
Şekil 5.3. % 7 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	43
Şekil 5.4. % 10 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	43
Şekil 5.5. % 15 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	44
Şekil 5.6. % 20 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	44
Şekil 5.7. Bütün karışım oranlarında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi.....	44
Şekil 5.8. 1025 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	45
Şekil 5.9. 1050 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	45
Şekil 5.10. 1075 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	45
Şekil 5.11. 1100 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	46
Şekil 5.12. 1125 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	46
Şekil 5.13. 1150 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	46
Şekil 5.14. 1200 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi	47
Şekil 5.15. Bütün sıcaklıklarda pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmeleri.....	47
Şekil 5.16. % 0 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı.....	50
Şekil 5.17. % 5 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı	50
Şekil 5.18. % 7 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı	50
Şekil 5.19. % 10 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı	51
Şekil 5.20. % 15 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı	51

Şekil 5.21. % 20 karışım oranında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı	51
Şekil 5.22. Bütün karışım oranlarında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı.....	52
Şekil 5.23. 900 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	52
Şekil 5.24. 950 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	52
Şekil 5.25. 1000 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	53
Şekil 5.26. 1025 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	53
Şekil 5.27. 1050 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	53
Şekil 5.28. 1075 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	54
Şekil 5.29. 1100 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	54
Şekil 5.30. 1125 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	54
Şekil 5.31. 1150 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	55
Şekil 5.32. 1200 °C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı.....	55
Şekil 5.33. Bütün °C’lerde farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı ağırlığı.....	55
Şekil 5.34. Birim hacim ağırlığı.....	66
Şekil 5.35. Özgül ağırlık	67
Şekil 5.36. Eksenel basınç gerilmesi.....	67
Şekil 5.37. Aşınma dayanımı.....	67
Şekil 5.38. Ağırlıkça su emme %’si.....	68
Şekil 5.39. Görünür Porozite %’si.....	68
Şekil 5.40. Porozite.....	68
Şekil 5.41. Kompasite.....	69
Şekil 5.42. Donma çözülme deneyi sonunda basınç gerilmesi.....	69
Şekil 5.43. Donma çözülme deneyi sonunda basınç kaybı.....	69

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Aktaş köyü taş ocağından görünüm.....	26
Fotoğraf 4.1. Yatay eksenli değirmen ve bilyeler.....	32
Fotoğraf 4.2. Masa tipi mikser.....	34
Fotoğraf 4.3. Numune kalıbı.....	35
Fotoğraf 4.4. Doğal ortamda kuruyan numuneler.....	36
Fotoğraf 4.5. Pişirme fırını.....	37
Fotoğraf 5.1. Tek eksenli basınç presini.....	40
Fotoğraf 5.2. Kesme makinesi.....	41
Fotoğraf 5.3. Piknometre deney seti.....	59
Fotoğraf 5.4. Aşınma deneyi numuneleri.....	61
Fotoğraf 5.5. Dikey aşınma deney ekipmanı.....	61
Fotoğraf 5.6. Su emme seti.....	62
Fotoğraf 5.7. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı.....	64
Fotoğraf 5.8. Derin dondurucu.....	65

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A	Kuvvet uygulanan yüzey alanı
f_b	Numunelerin basınç dayanımı aritmetik ortalaması
f_{db}	Numunelerin don sonu basınç dayanımı aritmetik ortalaması
G_d	Su emdirilmiş numune kütlesi
G_{ds}	Archimedes terazisi ile numune kütlesi
G_k	Hava kurusu numune ağırlığı
G_k	Etüv kurusu numune kütlesi
G_p	Piknometre kütlesi
G_{pn}	Numune + piknometre kütlesi
G_{pns}	Numune + su+ piknometre kütlesi
G_s	Su emdirilmiş numune + su + piknometre kütlesi
k	Komposite
ne	Kızılkaya lokasyonu efektif porozite,
P	Kırılma yükü
P_r	Porozite
S_k	Ağırlıkça su emme yüzdesi
S_h	Hacimce su emme yüzdesi
V_k	Numune brüt hacmi
Wa	Kızılkaya lokasyonu ağırlıkça su emme yüzdesi
γ_k	Numune birim hacim ağırlığı
γ_i	Kızılkaya lokasyonu birim hacim ağırlığı
γ_s	Numune özgül ağırlığı
σ_b	Numune basınç dayanımı
σ_c	Kızılkaya lokasyonu basınç dayanımı
Δf	Numunelerin basınç dayanımında meydana gelen azalma
Kısaltmalar	Açıklama
BHA	Birim hacim ağırlığı

BÖLÜM I

GİRİŞ

Yapı malzemesi, evrenin yaratılışından itibaren insanoğlunun çeşitli amaçlar için kullandığı ve geliştirilerek günümüzde en üst teknolojik seviyelere eriştiği bir olgudur. Doğadan olduğu gibi veya cevher ve mineral kaynaklardan hammadde olarak üretilip işlenerek çok farklı kullanım alanları oluşturması ve kullanım sonrası geri kazanım ile tekrar değerlendirilmesi, var olan arayışının ve etkinliğinin göstergesidir. Bu arayışlar insanoğlunun ufkunu sürekli açmış ve ona her dönemde, hayranlık uyandıran başarılar ortaya koyma olanağı vermiştir.

İnsanlar, 19. yüzyıldan itibaren geçmişlerini öğrenmek hususunda büyük çaba göstermeye, eski uygarlıkların eserlerini bulup tanımaya, kullandıkları teknolojileri ortaya çıkarmak için uğraşmaya başlamışlardır. Yapılan arkeolojik kazılar, pek çok soruya cevap bulunmasına imkân sağlamış, özellikle inşaat teknolojisinin nasıl geliştiği, bugünkü düzeye hangi aşamalardan geçerek geldiği öğrenilmiş ve bunun sonucu olarak sektörde yepyeni buluşların önü açılmıştır (Yeşilyurt, 2013).

İnsanoğlunun barınma ihtiyacı için gerekli olan yapı malzemesinin tedarik serüveni mağara döneminden, toplu yaşam düzenine geçmesi ile başlar. Yaşam alanlarında bulunan taş, ahşap, kamyş gibi gereçleri kullanarak ilk yapıları oluşturmuş, bu malzemelerin bulunmadığı veya az bulunduğu bölgelerde ise insanları arayış içine itmiştir. Çevresinde bolca bulunan toprağı keşfetmiş, yapıda kullanabilmek için şekillendirip dayanıklı hale getirmiş ve kerpiç olarak isimlendirilen ürünü bulmuştur. Kerpicin dış tesirlerden çabuk bozulmasını ise pişirmek sureti ile gidermiş ve ilk tuğlayı insanlığa kazandırmıştır. Zamanla teknolojiye ilerlemeler imalata yansıtılmış ve ürettiği malzemeler, mimarideki gerçek yerini almıştır (Arı-Polat, 2011).

Zamanla insanoğlunun malzemede görünüm çeşitliliği istekleri de talep olarak ortaya çıkınca malzeme seçiminde performans dayalı malzeme üretimi sürecini başlatmıştır. Yapım sistemlerindeki gelişmeye paralel malzeme teknolojisi de hızlı bir ivme kazanmıştır. İleri teknolojilerle inovasyon çalışmaları sonunda, her geçen gün yeni malzemelerin inşaat sektöründeki yerini aldığı görülmektedir. Günümüzde, çağdaş yapı

teknolojisine ve hızına doğal malzeme imkânlarıyla yetişmek pek olanaklı görünmemektedir. Bu zorunluluk, doğal malzeme kaynaklarının yetersizliğinden dolayı inşaat sektörünü malzeme yönünden yeni arayışlara itmiştir. Malzeme kaynaklarının geçmişte bilinçsizce kullanılması ve buna paralel artan talebin çok yüksek olması, üretim maliyetlerini olumsuz yönde etkilemiş, doğal kaynakların dengesiz kullanımı beraberinde çevre tahribatları da meydana getirmiştir.

Günümüz teknolojisinde yapı malzemelerinin üretimi için genellikle yeryüzündeki endüstriyel hammaddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerin değeri ile atıkları, önemli girdilere neden olduğu için yeni arayışları beraberinde getirmektedir. Ayrıca; uygun malzemeler üretilse de ürün sonunda çıkan atıklar, çözülmesi gereken önemli birer sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

İnsan nüfusunun hızla artması ve var olan kaynakların tükenmeye başlamasıyla, birçok atıkların azaltılması, mevcut atıkların kullanılabilir bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden endüstriye kazandırılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır (Akbulut ve Gürer, 2006).

Doğal kaynakların ihtiyaçlar doğrultusunda daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstride atık kullanımı, gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır (Çelik, 2004). Günümüzde gelişen teknolojiye paralel oluşan atıklar çevre probleminin yanı sıra çoğu kez depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bundan dolayı, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Oysa atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir durumdadır (Kaya ve Turan, 2004).

Modern dünyada, atıkları depolama nihai bir çözüm olarak görünmemekte, endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde yeni kullanım alanlarının geliştirilmesi zorunluluk arz etmektedir. Ağırlıkla çok büyük kullanım alanı olan inşaat teknolojisinde kullanılması tercih edilmiştir. Yapı malzemesi üretimi için kullanılan atıkların başında bitki artıkları, silis dumanı, atık lastikler, taş ve mermer tozları ile kömüre dayalı üretim tesislerinin atık külleri gelmektedir. Bunun yanında doğal taş ocaklarından elde edilen moloz taş ve kesme taş gibi ürünlerin atıklarında özellikle tarihi ve turistik alanlar için çevre yönetimi

açısından önemli sorunları da oluşturduğu, çözümlenmesi gereken büyük problemler içermektedir. Ancak, atıklar değerlendirilirken, üretilen malzemenin kimyasal, fiziksel ve dış tesirlere karşı gösterdiği performansını önemli derecede etkileyerek, uygulamalarda büyük sorunları da beraberinde getirmiştir (Arı-Polat, 2011).

Bu çalışmada; Niğde ili Aktaş köyü bölgesinde, Kızılkaya ignimbiritlerine ait Aktaş köyü taş ocağı atıkları ısıtılarak geçirilerek yeni nesil konstrüktif taşıyıcı yapı malzemesi üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada taş ocağı atığı esaslı numuneler, ısıtılarak geçirildikten sonra elde edilen inovatif bir yapı elemanının, performans değerleri incelenmiştir. Çalışmanın en önemli girdisi, atık terminolojisinde atık olarak değerlendirilen büyük taş ocakları atıklarının ısıtım teknolojisiyle yapı sektöründe kullanılabilir bir ürünün sektöre kazandırılmasıdır.

Çalışma dört bölüme ayrılmıştır. Giriş bölümünden sonra, ikinci bölümde, endüstriyel hammaddelerin inşaat sektöründe kullanım alanları üzerine yapılan çalışmalar ve Kızılkaya ignimbiritlerine yönelik kaynak araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma materyali incelenerek, uygulanacak yöntemler belirlenmiş ve seçilen çalışma yöntemlerine göre numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı hacimsel oranlarda öğütülmüş taş ocağı atığı/alçı karışımlarından numuneler üretilmiş ve numuneler üzerinde gerekli fiziksel deneyler yapılarak irdelenmiştir. Yapılan tüm deney kombinasyonları sonunda optimizasyon değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra, üretilen numunelerden optimum performans gösteren 1100 °C pişirme sıcaklığına sahip olan öğütülmüş taş ocağı atıklı dolgulu numuneler üzerinde; fiziksel ve mekanik testler (birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, su emme, porozite, kompasite, özgül ağırlık, ısı iletkenlik değeri, aşınma ve dona dayanıklılık) uygulanmıştır. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar irdelenmiş, üretilen ürünün inşaat sektöründe kullanılabilirlik imkânları değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİ

Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra ticari olarak işletilebilen ve yapı teknolojisinde kullanılan en eski inşaat malzemeleridir. Tarih boyunca insanlar tarafından yapılarda ve anıtlarda güzelliği, dayanıklılığı nedeniyle kullanılmıştır. Zamanla kullanımı artan doğal taşlar günümüzde özellikle inşaat sektöründe, döşeme, kaplama, heykeltıraşlık, mezar taşı yapımı, mıcır, beton, porselen ve cam sanayi, optik sanayi ve süs eşyası yapımında kullanılmaktadır. Doğal taş sektörü, son zamanda yeni üreticilerin de pazara girmesiyle ivme kazanan; hem ülkemiz hem de dünya ticareti için önem arz eden ve gelişen sektörler arasında yer almaktadır (Ekonomi Bakanlığı, 2016).

Doğal yapı taşlarının genel kullanım alanları inşaat sektörü, heykeltıraşlık ve süs eşyaları gibi dekoratif ürünlerdir. Yeni yapılan binalarda ve ticari yapılarda büyük alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, doğal yapı taşları eski evlerin yenilenmesi amacıyla da, cami, katedral, kale gibi tarihi yapılara yeniden hayat kazandırmak yanında büyük kent merkezlerinin halka açık alanların düzenlenmesinde ve rekreasyon alanlarında kullanılmaktadır (Sarı ve Yavuz, 2001).

Bu çalışmada kullanılan doğal taşlar, jeolojik orijinine göre piroklastik kayalar olarak genelleşebildiği gibi, piroklastik kayalardan ignimbiritler doğal taşları oluşturmaktadır. Piroklastik akıntı çökellerine “ignimbirit” adı da verilmektedir. İgnimbiritler çoğunlukla riyolitlerin kimyasal bileşimine benzer bir bileşime sahiptir. Bazen dasitik, trakitik ve hatta fonolitik bileşim de gösterebilirler. Piroklastik akıntı çökellerinin sahip oldukları ve belirgin özellikleri; herhangi bir tabakalanma göstermemeleri, genellikle kötü boylanma olmaları, camsı piroklastik malzemenin bol olarak bulunması, yassılaştırmış süngertaşı parçalarının birbirine paralel, bir yönlenme gösterecek şekilde bulunmaları, özellikle toz büyüklüğündeki taneciklerin birbirleriyle kaynaşmış olmaları, kayaların gevrek ile çok sert-kompakt arasında değişen dokusal özellik göstermeleri tipik özellikleridir.

Bileşenlerinin birbirleriyle kaynaşma derecesine göre ignimbiritler "kaynaşmamış ignimbiritler" ve “kaynaşmış ignimbiritler” şeklinde de adlandırılmaktadır. Bir

İgnimbirit profilinin orta kısımlarında bileşenler taban ve üst kısımlara kıyasla daha yoğun bir şekilde birbirleriyle kaynaşmışlardır. Kaynaşma sürecinin yaklaşık 500 °C üzerindeki sıcaklıklarda geliştiği, bazı ignimbiritlerin çökeltme bölgelerinde 700- 800 °C arasında bir sıcaklığın etkin olduğu da ifade edilmektedir (Helvacı ve Ergül, 2001).

İgnimbiritler genellikle açık renkte bulunan kayalarlardır. Jeolojik tarihe içinde gelişmiş, nispeten yaşlı ignimbiritler gri, kırmızımsı kahverengi veya yeşilimsi renkler de gösterebilirler. İgnimbiritler süngertaşı parçaları, volkançamı kıymıkları dışında, çoğunlukla kemirilmiş (korrode) kuvars mineralleri, sanidin, plajiyoklaz, biyotit, hornblend ve benzeri mineraller de içerirler. Minerallerin gerek taşınma esnasında gerek çökeltme sonrası gelişen tıkkızlaşmaya bağlı olarak kırılıp parçalandıkları da saptanabilir (Helvacı ve Ergül, 2001).

Kapadokya bölgesinde birden fazla ignimbirit akıntısının üst üste yığıldığı da gözlenebilmektedir. Bunların petrolojik incelenmelerinde değişik sayıda "piroklastik akıntı birimi" kütleinin soğumasına bağlı olarak gelişen "piroklastik soğuma birimi" gibi birimler ayırt edilir. Kısa bir zaman aralığı içinde hızla birbiri üzerine yığılan muhtelif piroklastik akıntı birimlerini, ayrıntılı incelemelerle tek bir piroklastik soğuma birimi altında toplamak mümkün olabilir.

Tıkız ve sert ignimbiritler (kaynaşmış ignimbiritler), diğer volkanik kayalarda da olduğu gibi, soğuma yüzeyine dik gelişmiş çatlaklar içerir ve buna bağlı olarak sütun şeklinde bölünme/parçalanma gösterirler. Bileşenleri birbirleriyle yeterli derecede bağlantılı olmayan ignimbiritlerde (kaynaşmamış ignimbiritler) ise özellikle bitki örtüsünün bulunmadığı durumlarda erozyon nedeniyle oldukça dik kenarlı/yüzeyli, konimsi yüzey şekilleri (peri bacaları) meydana gelir (Helvacı ve Ergül, 2001).

"Lahar" adı verilen kayalar, oluşum mekanizmalarının benzerliği nedeniyle piroklastik akıntı çökelleri kapsamında incelenebilirler. Volkanik faaliyetin başlangıcında volkan konisi üzerinde bulunan kar veya buzulların aşırı sıcaklık nedeniyle aniden erimeleri, krater göllerinin birden boşalması veya çok şiddetli yağmurlar sonucu, piroklastik malzemenin suyla doymun hale gelmesi, sıcak veya soğuk bir çamur akıntısı şeklinde topografya eğimini izleyerek kilometrelerce uzak mesafelere kadar hareket etmesi mümkün olabilir. Bunlara lahar denilmektedir (Helvacı ve Ergül, 2001).

Laharlarda piroklastik malzemeler karmakarışık bir durumda bulunur. Büyük bloklar değişik büyüklüklerde olabilen piroklastlarla birlikte görülür. Malzeme çok kötü bir boylanmaya sahiptir. Uzak mesafelere hareket eden laharlarda birkaç desimetre kalınlığından ince taneli bir taban seviyesi üzerinde metrelerce kalınlığa erişebilen ve boylanmamış malzemenin karmakarışık bulunduğu esas lahar kütlesi gelir. Bunun da üste doğru tabakalı, bazen çapraz tabakalı tüfitlere geçiş gösterdiği gözlenebilir (Helvacı ve Ergül, 2001).

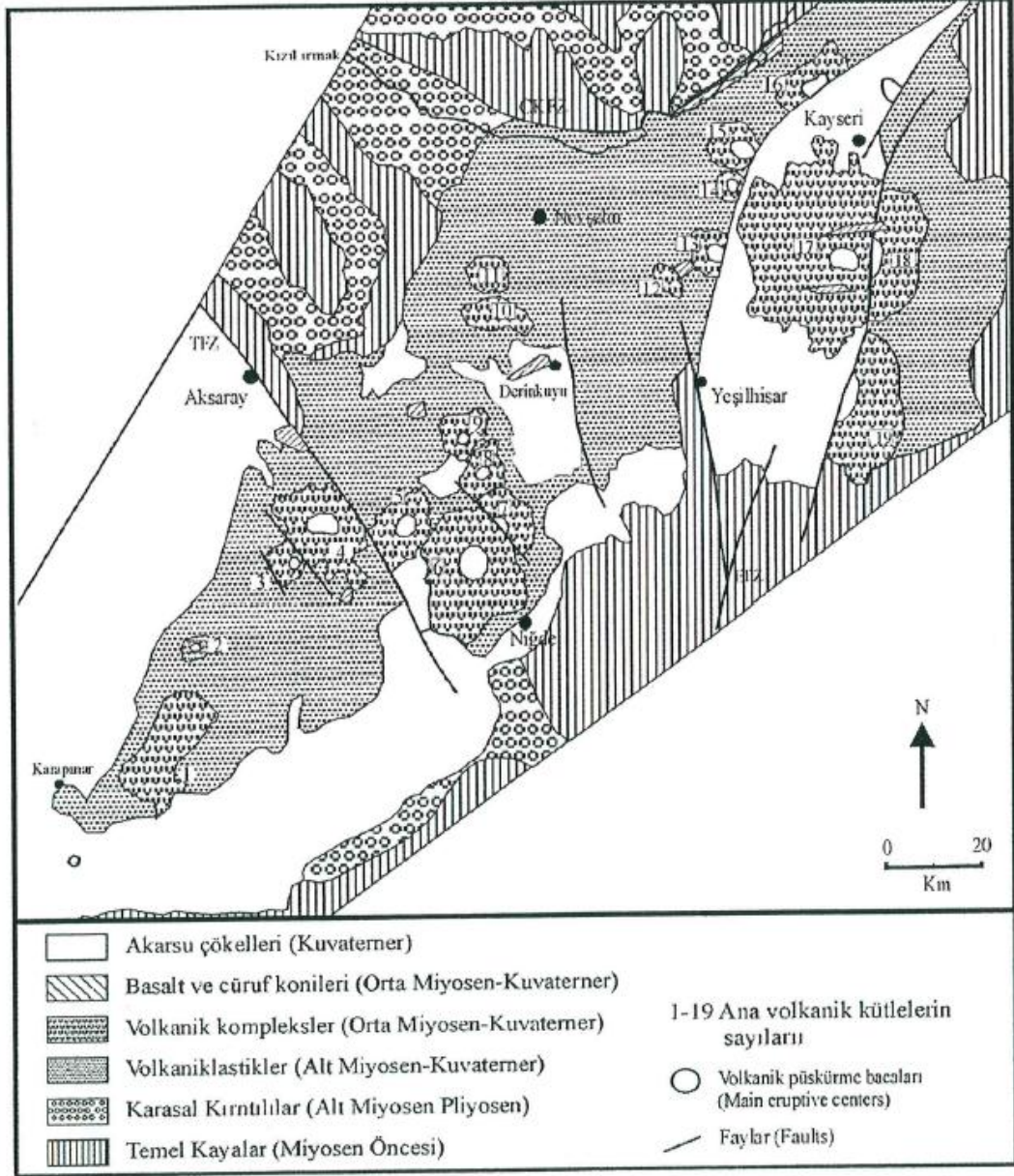
2.1 Bölge İgnimbiritlerinin Jeolojisine Yönelik Yapılan Çalışmalar

Kapadokya bölgesi farklı zamanlarda oluşan birçok formasyonu içermektedir. İç Anadolu Bölgesi'nde Kayseri, Aksaray, Nevşehir ve Niğde il sınırları içerisinde yer alan piroklastik ürünler geniş kesim alanlarını kapsamaktadır. Bu bölge, genç volkanizmanın ülkemizde yaygın ve farklı evrelerde birçok ürünler oluşturduğu bölgelerden biridir.

Kapadokya bölgesi formasyonu, eşsiz jeolojik özellikleri ile birçok araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Bölgede bilinen ilk volkanolojik araştırmayı 1842 yılında Hamilton'un yaptığı bilinmektedir. Daha sonra Tchihatcheff (1876), Chaput (1936), Tromp (1942), Westerveld (1956), Beekman (1966), Pasquare (1966, 1968) gibi araştırmacılar çeşitli jeolojik incelemeler yapmışlardır. Bölgede daha sonra Besang vd. (1977), Batum (1978), Innocenti vd. (1975, 1982), Pasquare vd. (1988), Tokel vd. (1988), Ercan vd. (1990, 1992), Göncüoğlu ve Toprak (1992), Toprak ve Göncüoğlu (1993), Le Pennec vd. (1994), Schumacher ve Mues Schumacher (1996), Mues Schumacher ve Schumacher (1996), Güleç vd. (1997), Temel vd. (1998), Türkecan vd. (2003), Le Pennec vd. (2005), Lepetit vd. (2009), Viereck vd. (2010) gibi birçok önemli araştırmacılar tarafından, ayrıntılı volkanolojik, jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar bölgenin jeolojik haritalarının oluşturulmasında temel dataları oluşturmuştur.

Kapadokya bölgesi Nevşehir platosundaki ignimbiritler ise ilk kez Pasquare (1968) tarafından haritalanmış ve stratigrafik düzeni kurulmuştur. Fakat birçok kez bu birlikler ve düzenleme, saha çalışmalarına dayanılarak, yeniden birçok bilim adamı tarafından değiştirilmiştir (Le Pennec vd., 1994; Toprak, 1994; Lepetit vd., 2007). Bu platoda

ondan fazla ignimbirit seviyesi bulunmaktadır ve bunlar renk, kaynaklaşma, kalınlık ve dağılıma göre farklılıklar göstermektedir. En son olarak Gürel ve Kadir (2006), tarafından düzenlenerek Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma alanının jeolojik haritası
(Gürel ve Kadir, 2006 tarafından revize edilmiştir.)

Innocenti vd. (1975), Orta Anadolu’daki Neojen volkanik aktivitesinin gelişimini araştırmışlardır. Stratigrafik ve radyometrik yaş verileri ile bu alandaki volkanizmanın Üst Miyosen’de başlamış olabileceğini ve eski çağlara kadar devam ettiğini belirtmişlerdir. Bu zaman diliminde devam eden volkanizmanın, kalkalkalen nitelikte

olduğunu bu kalkalkalen volkanik aktivitesini Agro–Arap plakasının Euro–Asya plakasının altına dalması sonucunda oluşabileceğini açıklamışlardır. Batum (1978), Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl volkanitleri üzerinde yaptığı birçok jeokimyasal araştırmalar sonucunda, hafif alkalen karakteri belirgin Kuvaterner bazaltları dışındaki volkanitlerin kalkalkalen seriye dahil olduklarını tespit etmiştir. Bu volkanitlerin Arap-Afrika levhası ile Anadolu levhacığı arasındaki kıta/kıta çarpışması sonucunda oluşan volkanizmanın ürünü olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bölgedeki ignimbiritlerin jeolojik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili literatürlerde çok fazla miktarda çalışmalar yapıldığı görülmesine rağmen, bu ignimbiritlerin yapı malzemesi olarak kullanılabilir özellikleri, bunların gerilme değerleri ile dış tesirlere dayanımları ve ayrışma özelliklerine yönelik çalışmalar ise daha az sayıda olup konu ile ilgili Erguvanlı vd. (1977), De Witte vd. (1988), Topal (1995), Topal ve Doyuran (1997), Gökçeoğlu vd. (2000), Ergüler (2009) yaptıkları çalışmalar örnek olarak verilebilir. Son dönemlerde yapılan araştırmalar ise, özellikle bölge ignimbiritlerinde geçmişte ve günümüzde birçok amaçlar için şekillendirilmiş kaya yapılarının duraylılıklarına ve mühendislik özelliklerine ilişkin Aydan vd. (1999), Ulusay vd. (1999), Aydan ve Ulusay (2003), Ulusay vd. (2006), Ulusay ve Aydan (2007), Aydan vd. (2007a, 2007b) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Aynı zamanda; doğal kayaların (ignimbiritlerin) oyulması suretiyle teşkil edilecek yapıların, yeterli bir güvenlikle tasarımına ve yapımına ilişkin yöntem, kural ve koşullara dair usul ve esasların düzenlendiği, Kayadan Oyma Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 18.10.2017 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Ercan vd. (1987), Niğde ve Nevşehir illeri arasında bulunan volkanik kayalarda petrokimyasal çalışmalar yürütmüşler, volkanik kayaların çoğunlukla kalkalkalen, sadece Kuvaterner yaşlı bazaltik lavların bir kısmının hafif alkalen özellikler taşıdıkları ve esas olarak kabuk, kısmen de manto kökenli oldukları sonucuna ulaşmışlardır.

Moon (1993a, b), İgnimbiritlerin çok geniş bir aralıkla değişen jeomekanik özelliklere sahip olduğunu belirttiği çalışmalarında, zayıf karakterli çatlaksız olanların tek eksenli gerilme dayanımlarının 1 MPa'dan daha düşük değer taşıdığını, yoğun soğuma çatlaklı sert yapılı olanlarının tek eksenli gerilme dayanımlarının ise 50 MPa'dan daha büyük

değerlere ulaşabildiğini belirtmiştir. Bu tür kayalarda porozitenin %17 ile 51 arasında değiştiğini, bunun da doygunluk nedeniyle önemli ölçüde direnç kaybına yol açabilecek bir özellik olduğunu ortaya koymuştur. Suya karşı duraylılık indeksi ve efektif porozitenin, ignimbiritlerin malzeme parametrelerinin sınıflandırılması bakımından önemli özellikler olduğunu belirtmiştir. Kristal ve tane boyutunun ise tek eksenli gerilme üzerinde ikincil olarak etken rol oynadığını vurgulamıştır.

Temel (2007), Volkanik ürünlerin ignimbirit (piroklastik akıntı) ve döküntü çökelleri, strato volkanlar ve çok sayıda monojenetik yapılardan oluştuğunu belirtmiştir. Kapadokya bölgesinde volkanik ürünlerin 8 adet ignimbiritik birim mostra verdiğini ve bu birimlerin geniş alanlar kapladığını söylemiştir. Bu birimleri yaşlıdan gence doğru Kavak, Zelve, Sarımaden Tepe, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılkaya ve Valibaba Tepe ignimbiritleri olarak sıralamıştır. Bu birimlerin yaşının, Üst Miyosenden (11,2 My) başlayıp, Kuvaterner'e kadar değişmekte olduğunu belirtmiştir. İgnimbiritik birimlerin riyolitik ve dasitik bileşimde olduklarını, bunlarla ara katkılı olan lav akıntılarının ise andezitik bileşimde olduğunu ortaya koymuştur. Jeokimyasal ve jeolojik parametrelere göre Kapadokya ignimbiritlerinin dalma-batma süreçlerinin etkisi altında kalmış bir manto kaynağından itibaren oluştuğunu söylemiştir.

Solak'ın (2012), yöredeki ignimbiritlerin yapı malzemesi özellikleri ve mühendislik özelliklerinin araştırıldığı çalışmada, bunların jeolojik, petrografik ve kimyasal özelliklerinin, jeomekanik özelliklerindeki değişime etkisi ile bunlar arasındaki ilişkilere yeterince değinilmediğini belirtmiştir. Yaptığı çalışmada farklı renk ve dokusal özellikler sunan tüf ve ignimbiritlerin petrografik özelliklerinin nasıl değiştiğini ve bu özelliklerin mühendislik özelliklerine etkisini ve arazi çalışmaları ve petrografik incelemeler esnasında, belirlenen farklı renk ve dokuya sahip kayaların petrografik özellikler ile jeomekanik özellikler arasında istatistiksel ilişkileri tanımlamıştır.

Solak (2012), Kapadokya bölgesinde geniş yayılımları bulunan Kızılkaya ignimbiriti, Kavak ignimbiriti, Gördeles ignimbiritlerinden ve Melendiz tüflerinden farklı renk ve dokuda birçok piroklastik kayaç örnekleri almış, örnekler üzerinde kimyasal analizler, petrografik incelemeler yapmıştır. İncelediği bu örneklerin yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğine yönelik, mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile deneysel çalışmalar yapmıştır. İncelediği örneklerin, ağırlıkça su emme, görünen porozite, kuru

ve doygun birim ağırlıkları, eksenel basınç dayanımı, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, P-dalga hızı, nokta yük dayanım indeksi, çivi penetrasyon derinlikleri, kılcal su emme değerlerini tespit etmiştir. Kapsamlı petrografik çalışmalar ile mineral bileşimi, boşluk oranı, dokusu, volkan camının varlığı ve bu parçaların kayaç içerisindeki durumunu, ikincil mineral oluşumunu, opak mineral varlığı ve ayrışma etkileri ile oranlarını belirlenmiştir. Ayrıca tane matriks oranı tanımlanmıştır.

Topal ve Doyuran (1997), Kapadokya yöresi tüfleri üzerinde incelemelerde bulunmuş olup, tüflerin çok zayıf kaya mekaniği özelliklerinde olduğunu, birçok bölgede düşük birim hacim ağırlıkta ve yüksek poroziteye sahip kaya mekaniği özellikleri içerdiklerini belirtmişlerdir. Tüflerin yapısal parametrelerinin ve zayıf kaya mekaniği özellikleri nedeniyle dış tesirlere karşı duraylılıklarının düşük olduklarını belirlemişlerdir.

Tuğrul ve Zarif (1999), Piroklastik kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin, mineralojik ve dokusal özelliklerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, granitik kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile petrografik özellikleri arasında anlamlı ilişkiler bulmaya çalışmışlardır. Bunun yanında kayaçların özgül ağırlık, kuru ve doygun birim hacim ağırlık, su emme, efektif ve toplam porozite, sonik hız, schmidt sertliği, nokta yük direnci, tek eksenli basınç direnci, kesme direnci ve elastisite modülü gibi endüstride gerekli olan mühendislik özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonunda kayaçların dokusal özelliklerinin mühendislik parametreleri üzerinde mineralojik özelliklerine oranla daha etkili olduğunu, tane şekli ve tane boyutunun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Nickmann vd. (2006), Piroklastik kayaçlar üzerinde yapılan çalışma kapsamında 7 ayrı lokasyondan 40 değişik tip kayaç incelemişlerdir. Kayaçların sadece mekanik özellikleri ve suya karşı duraylılıkları değil, aynı zamanda gözeneklilik, karbonat içeriği, tane boyu dağılımı ve eksenel basınç gerilmeleri gibi diğer mühendislik parametrelerini de belirlemişlerdir. Elde ettikleri bu özelliklere göre yaptıkları sınıflamada suya karşı duraylılık indeksinin ön sıralarda yer aldığını ve bu durumun dış tesirlere karşı kayaç duraylılığını etkileyen en önemli faktör olduğu belirtmişlerdir. Aynı zamanda duraylılığın sadece tek bir parametreye bağlı olmadığını, eksenel basınç gerilmeleri,

tane boyu ve porozite gibi birçok özelliklerinin birleşimine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Korkanç (2007), Nevşehir bölgesinin geniş alanlarında yüzeyleyen Kavak, Zelve, Kızılkaya ignimbiritlerine ait farklı renk ve dokulara sahip piroklastikleri seçtiği çalışmasında, renk ve dokusal özellikleri çok sık değişim gösteren altı farklı bölgede ignimbirit gruplarında örneklemeler yapmıştır. Bu örnekler üzerinde yaptığı çalışmalarda öncelikle kimyasal ve petrografik özelliklerini belirlemiş, jeomekanik özelliklerini belirlenmek için ise standart kaya mekaniği deneylerini uygulamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen piroklastiklerin iyi kaynaşmamış ignimbirit özelliğinde olduğunu belirtmiştir. Bu ignimbiritlerin jeolojik, kimyasal ve petrografik özellikleri ile jeomekanik özellikleri arasında önemli ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle ince taneli kayaç parçası içeriği, opak mineral ile matriks oranı, tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük olduğunu, yoğunluklarının ve eksenel basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdiklerini belirtmiştir. Tek eksenli basınç gerilmesi sonuçlarının farklılık içermesinin sebeplerini ise bazı yaklaşımlarda bulunarak açıklamıştır.

Beekman (1966) Kapadokya bölgesinde de; Kızılkaya ignimbiritlerinin yörede masa tepeler şeklindeki görünümüyle kılavuz seviye durumunda olan ignimbiritlerin çeşitli büyüklükteki mostraları en geniş olduğunu belirtmiştir. Bu birimin masa kaya tepe görünümlü olduğunu ve altındaki Selime tüfleri ile olan dokanak ilişkisinin en güzel görüldüğü yerin ise Kızılkaya köyünün kuzeyinde yer aldığını belirtmiştir.

Bu ignimbiriti Kızılkaya köyünden dolayı, Kızılkaya ignimbiriti olarak isimlendirmiştir. Genellikle beyazımsı gri renkte görülmekte olup, az bozunmuş yüzeylerde ise pembemsi bir renkte oluşmuştur. Düz görünümlü bir topografyaya sahip olan Kızılkaya ignimbiriti Melendiz çayı ve yan kollarınca parçalara ayrılarak farklı yüksekliklerde masalar oluşturmuştur. İhlara vadisi olarak isimlendirilen büyük ve dar bir kanyon durumundaki vadide ignimbiritlerin kalınlığı yaklaşık 60 m'yi bulurken düşey yönde oluşmuş çatlaklar nedeniyle kolonsu bir yapı gösterebilmektedirler. Üst seviyelerde zayıf dokulu, alta doğru sık dokulu en altta ise daha sık dokulu, pürüzlü, iriliği yaklaşık 30cm'ye varan süngertaşı parçaları içerir. Bölge ignimbiritlerinin altında bulunan tüfler arasında ve bölgenin hemen her yerinde gözlenebilen kırmızı renkli pişme zonu

bulunmaktadır. Birimin kalınlığı 2-75 m arasında değişmektedir. Yapılan son çalışmalara göre Kızılkaya ignimbritlerinin yaşı, biyotitlerde yapılan K/Ar yöntemiyle 4,9-5,5 milyon yıl olarak bulunmuştur (Ayhan ve Papak, 1988; Sarı ve Çömlekçiler, 2007).

Le Penec vd. (2005) tarafından, K/Ar yaşı veya stratigrafik veriler yardımıyla, göreceli yaş tayini yapmışlar ve en genç ignimbrit olarak bilinen İncesu ignimbriti için 2,8 Milyon yıl olarak belirlenmiştir. Gürel'e (2009) göre Kızılkaya ignimbriti ise 4,3 Milyon yıl ile ters polarite göstermektedir. Gördeles ignimbriti için ters manyetizma tespit edilmiş ve stratigrafik yaşı 5,7 Milyon yıl olarak belirlenmiştir. Cemilköy ignimbriti kısa ters polariteye sahiptir ve bu ignimbritin yaşı 6,3 Milyon yıl olarak belirlenmiştir. Sarımaden ignimbritinden ise hem radyometrik hem de manyetik (ters polarite) yaş tayini yapılmış olup, bu ignimbrite 8,5 Milyon yıl yaş verilmiştir. Bu ignimbritin hemen altında yer alan Zelve ignimbriti için stratigrafik olarak yaşı 8,8 Milyon yıl tahmin edilmiştir.

Bölgesel jeolojisi; Orta Anadolu (Kapadokya bölgesi) Kristalen Karmaşığa ait metamorfik, ofiyolitik ve magmatik kayalardan oluşan ve geniş bir alanı oluşturan formasyona sahiptir (Yıldız vd., 2014). Günümüze kadar bu formasyon üzerinde temel kayalarının jeolojisi, petrolojisi, jeokimyasal karakteri ile ilgili bir çok çalışmalar yapılmış olup çalışmalara Türel (1991), Boztuğ (2000), Kadioğlu ve Güleç (1994), Kadioğlu ve Güleç (1995), Kadioğlu ve Güleç (1996), Güllü (2003), Güllü ve Yıldız (2012) örnek gösterilebilir. Penec vd. (2004) ise bölgenin ignimbritleri üzerinde yaş tahmini çalışmaları yürüterek, stratigrafi ve yaşı birbirinden farklı olduğu için o güne kadar yapılan yaş tahminini revize etmişlerdir.

Kapadokya Bölgesi, genellikle Neojen-Kuvaterner'e ait volkanik birimlere kaplı olup, Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultulu ve uzun eksenini 300 km'ye kadar ve genişliği 60 km olan bir kuşak şeklindedir. Bu alanın en yaygın birimlerini Yeşilhisar Formasyonu, Ürgüp Formasyonu ve Kuvaterner çökelleri oluşturmuştur. Bu formasyonun temel kayalarını ise ofiyolit (gabro ve piroksenit) ve magmatik kayalar (siyenit ve monzonit) oluşturmaktadır. Yeşilhisar Formasyonu ise kumtaşı, konglomera ve çamurtaşı araldanmasıyla temsil edilmektedir (Solak, 2012).

Yeşilhisar Formasyonunu piroklastik birimlerden oluşan ve uyumsuzlukla üzerleyen Ürgüp Formasyonu adı geçen bölgede geniş bir alanı kapsamaktadır ve Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı olduğu bilinmektedir. Litolojik olarak yatay ve düşey yönde gösterdiği dağılımlar irdelenerek, bu formasyon Temel vd. (1998) tarafından Kızılkaya, Kavak, Sarımaden, Zelve, Cemilköy, Damsa, Tahar, Sofular, Gördeles, Topuzdağ ve Valibaba üyelerine ayrılmıştır.

Bölgedeki üyelerin (ignimbiritlerin) hepsi patlama öncesi az miktarlarda da olsa düşme aktivitesi göstermişlerdir. Bu aktivite Cemilköy ve Gördeles ignimbiritlerinde bir kaç cm olup, Kızılkaya ignimbiritinde ise bir kaç dm mertebesindedir. Sarımaden Tepe ve Zelve ignimbiritleri metreleri geçen gerçek düşme ürünleri içerirler. Saha çalışmacıları sonucu Cemilköy, Tahar, Gördeles ve Kızılkaya ignimbiritlerinin tabanında yayılma tabakaları tespit edilmiştir. Sarımaden ignimbiritinden Kızılkaya ignimbiritine doğru % 90-95 cam ve sadece % 5-10 pomza oranı gözlenmektedir. Pomzanın rengi ve şekli de ignimbiritlerin ayrılmasında yardımcı bir faktör olarak kullanılabilir (Gürel, 2009).

Gürel'e (2009) göre; Bölgede Kızılkaya ignimbiritleri en fazla yayılım gösteren ignimbiritlerden olup, 10.600 km² alanı kaplar. Bölgede Tahar ignimbiriti en az yayılım (1.000 km²) ve en az hacim gösterir (25 km³) (Le Pennec vd., 1994). Bütün paleoçoğrafyayı kaplayan ilk ignimbirit ise Cemilköy ignimbiriti olup, güney doğudaki Araplı geçidinde ise metamorfik ve ultramafik kayalar örter. İgnimbiritlerin kaynaşma göstermesi önemli bir kriter olup, Kızılkaya ignimbiriti 20m kadar (Erken Pliyosen, 4,3 My) başlangıç kaynaşması göstermektedir. En iyi kaynaşma ise İncesu ignimbiritinin tabanındaki camsı zonda bulunmaktadır. Bu zon Koralay ve Kadıoğlu (2007) tarafından çalışılmış ve (İncesu ignimbiritleri) rengine göre alt, orta ve üst olmak üzere üç seviye olarak sınıflandırmışlar ve kaynaklanma derecesini incelemişlerdir.

Pasquare'e (1968) göre, çalışma konusunu içeren Kızılkaya ignimbiriti oldukça geniş alanları kaplayan birimin, Kayseri-Yeşilhisar, Kayseri-Develi, Nevşehir-Ürgüp, Niğde ve Aksaray arasında her alanda mostralalarına rastlamak mümkündür. Yaklaşık 4.800-5.000 km²'lik bir alan içermektedir. Uzaktan bakıldığında Kızılkaya ignimbiriti yatay konumlu bazalt akıntıları görünümüyle karakteristiktirler. Batum'a (1978) göre, sütünsal, çatlaklı ve eklemli şekilde bir yapıya sahip olan ignimbiritler kahve renkli, sarımsı ve kirli beyaz dış görünüşlü, bazı bölgelerdeki rengi ise sarımsı beyazdır.

Kızılkaya ignimbiriti, Schumacher ve Mues Schumacher'a (1996) göre tek bir seviyeden ibaret değildir. Alttan üste doğru farklı ignimbirit ve tüflü düzeyler içermektedir.

Kızılkaya ignimbiritinden Dönmez vd. (2003), farklı seviyelerde aldıkları kesitler ile birbirinden farklı beş seviye tespit etmişlerdir. En altta beyaz sarı tuf ve pomzalarından oluşan birimin bulunduğunu, bunu gri-pembe renkli katmanın takip ettiği, kuvars ve feldispatların etrafını sarmal şekilde saran pomzalarla ignemsi yapıdaki pomzalı seviyelerin yer aldığı 3-5 m pliniyen türü oluşumların izlediği bir düzey takip etmektedir. Daha yukarıda, bol boşluklu, gri, beyaz renkli ignimbiritik seviye bulunmaktadır. Aynı çalışmaya göre bu seviyede gözlenen irili ufaklı boşluklar, birim içerisinde yer alan pomza parçacıklarının ayrışarak dağılıp gitmesiyle oluşmuştur. En üst kesimde genel olarak gözle görünür şekilde yer alan kahve renkli, kırmızı renkli sütunsal yapılı, iyi kaynaklaşmış ignimbiritik düzeyin bulunduğu belirtilmiştir.

Solak'a (2012) göre ise Kızılkaya ignimbiritlerinin bölgede doğal olarak bulunduğu şekiller daha sadedir. Kırmızı-kahve renkli akarsu çökeltilerinin yer aldığı bir istif altta bulunmaktadır. Bu tabakayı, taban türbülans çökeltileri izlemekte ve bu çökeltiler üzerine geçişli olarak gri-pembe renkli ince, orta ve iri taneli pomzaların yer aldığı pliniyen türü döküntülerden oluşan gevşek bir olan oluşturmaktadır. Bu birimin her alanda çizgisel bir geçişle kahve ve kırmızı renkli iyi pekişmiş ignimbiritlere geçiş yaptığını belirtmiştir. Ayrıca; Kızılkaya ignimbiriti'nin dokanak ilişkileri yüzelediği her yerde gayet açık olduğunu, kendinden önce bulunan birimleri örttüğünü ve bunu bölgenin tamamında görmek mümkün olduğunu açıklamıştır. Yeşilhisar civarında üst Miyosen volkanitlerini kaplayan ignimbiritler, Ürgüp Formasyonu'na ait olan gölsel çökeltiler üzerine doğru gitmektedir. Bu durum bazı yerlerde Cemilköy, bazı yerde Gördeles ignimbiritleri üzerinde yer almaktadır. Bu birim Kışladağ Kireçtaşları tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Soğanlı vadisi olarak isimlendirilen Soğanlı-Nevşehir yolu üzerinde Güzelöz Köyü civarında da bu ilişkinin olduğu görülmektedir. En önemli dokanak ilişkisi ise Kayseri bölgesinde Develi yakınlarında görülebilir. Develi doğusunda, Tahtalararası Dere'de İncesu ignimbiritinin altında gözlenmektedir. Bu ilişki ile Kızılkaya ignimbiritlerinin hemen Sultan Sazlığının doğusuna kadar ulaşabildiğini veya Sultan Sazlığının bu esnada henüz incelenmemiş olabileceğini belirtmiştir.

Gürel (2009), Kızılkaya ignimbiriti üzerinde daha kapsamlı bir çalışma yürüterek basit soğuma birimi ve distal sahalar dışında iyi gelişmiş kolonsu eklemeler içerdiğini belirtmiştir. Depozitler, Nevşehir platosunun doğu kısmında genellikle iki farklı akıntı biriminden ve temel geri düşme tabakalarından oluşur. Alt kısımdaki birim platonun batısında daha kalındır ve distal kısımlarda kaybolur. Büyüklükleri 80 cm'yi geçen pomza parçaları, piroksimal ve orta uzaklıktaki alanlarda yaygındır. Kızılkaya nehrinin batısında 12 cm'nin altına kadar düşer. Derinkuyu'nun doğusunda, alttaki birimin tabanında ise boyutları 66 cm'yi geçen saçınımlar halinde bulunurlar. Birim üç akma fasiyesinden oluşmaktadır. En alttaki fasiyes, açık pembemsi renkli olup sadece Güzelyurt çevresinde gözlenir. Tabanındaki ince taneli fasiyes ile bunun üzerini örten homojen pomza akması fasiyeslerinden oluşmuştur. Bir birim % 75 kül, % 2 pomza taneleri ve % 15 andezitik, bazaltik ve ofiyolitik çakıllardan oluşan litik parçaları içerir. İkinci akma birimi pembe renklidir ve 3m kalınlığındadır. Tabanında 5cm kalınlığında volkanik malzemedan oluşan, homojen, ince taneli seviye yer alır. Bu seviye % 80 kül, % 15 pomza taneleri ve % 5 andezitik bileşimli litik parça içerir. Üçüncü akma birimi Kızılkaya ignimbiritinin en geniş yayılımlı olan akma birimidir ve 120km²'lik bir alanda gözlenir. Bu birim kızılımsı pembe renkli, kalınlığı ise 1,5-60m arasında değişir. Tabanında kalınlığı 40-50cm arasında değişen homojen yapılı, iri boylanmış, ince taneli bir seviye vardır. Bu seviye üzerinde % 50-60 pomza taneleri, % 30-40 kül ve % 10-15 andezit ve bazaltik bileşimli litik parçalar içeren oldukça iyi kaynaşmış, sütünsal soğuma çatlakları bulunan pomza akma fasiyesleri gelişmiştir. Kızılkaya ignimbiriti, 10.600 km²'den daha geniş bir alanda yayılım gösterir.

Korkanç (2012), yapmış olduğu çalışmasında; Niğde bölgesi Kızılkaya ignimbiritleri arasında boşluklu, kaynaşma oranının düşük ve yumuşak yapılı olduğunu belirtmiştir. Bu yapıdaki en belirgin örnekler Aktaş Köyü, Uluğaç Köyü taş ocakları ve Çavdarlı Köyü çıkışı yol yarması alanlarındaki yerlerde rastlamıştır. Özellikle günümüzde aktif olarak işletilen Aktaş Köyü ve Uluğaç Köyü taş ocaklarında ignimbiritlerin kalınlığı ve yayılımı oldukça fazladır. Üst kesimlerde ayrışma etkisi mevcuttur. Bu etki 40-50cm'lik kesimlerde belirgin olup, derinlere doğru kaybolarak ortadan kalkmaktadır. Birimde süreksizlikler Kızılkaya ignimbiritlerinde karakteristik olan 10 m'den fazla düşey yönlü çatlaklar ve uzanımları mevcuttur. Bu düzlemlerdeki malzemeler yapı taşı olarak endüstride oldukça etkin şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanında kaynaşma oranı yüksek, boşluk oranı az ve sert yapılı örnekler; Kemerhisar-Gökbeş arası otoyol

kenarı eski taş ocağı, Karatlı Köyü doğusu kaya mezarları mevki, Gümüşler-Üçkapılı Köyü arası, Yarhisar Köyü, Edikli Köyü ve Araplı Köyü taş ocağı bölgelerinde rastlanmıştır. Kızılören Köyü ve Elmalı Köyü taş ocaklarında ise Aktaş Köyü, Uluğaç Köyü, Çavdarlı Köyü taş ocaklarının yumuşak yapılı ignimbiritlerine göre daha sert yapılı ve daha az boşluklu olduğunu belirtmiştir.

Korkanç vd. (2017), Gümüşler ve Aktaş yöresi ignimbirit karot örnekleri üzerinde TSE 699'a göre çalışmışlardır. Söz konusu numunelere ait kuru ve doygun birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, porozite deneylerinden elde edilen verilere göre ignimbiritin çok boşluklu kayaçlar sınıfında yer aldığını ve dış atmosferik olaylardan fazla etkilenebileceğini belirtmişlerdir. İgnimbirit numunelere tek eksenli basınç gerilmesi deneyi uygulayarak ortalama 108 kg/cm^2 değeri elde edilmiş olup bu değer, Deere ve Miller'e (1966) göre "çok düşük" dayanımlı kaya sınıfında yer almaktadır. Yörede yayılım gösteren ignimbiritler, geçmiş dönemlerde yapı taşı olarak gerek meskenlerde gerekse bahçe duvarı yapımında yaygın olarak kullanılmış olup günümüzde bu yapı malzemesinin önemini giderek kaybettiğini, ancak zayıf özellikler göstermesi ve sudan etkilenmesi nedeniyle suyla temas etmeyen kesimlerde kullanıma sunulabileceğini belirtmişlerdir.

Solak (2012) tarafından Kızılkaya ignimbiritleri üzerinde yapılan geniş kapsamlı çalışmada lokasyon tanımlamaları da yapılmıştır. Yürüttüğü çalışmasında kaynaşma durumlarına, dokusal özelliklerine ve farklı renklere göre ayırdığı örnekler göre kısa tanımlamalar ve adlandırmalar yapmıştır. Arazi çalışmaları esnasında, bölgede yaygın olarak gözlenen piroklastik kayaçların dokusal ve renk özelliklerinin konumdan konuma çok sık değiştiğini gözlemlemiştir. Bu nedenle dokusal özelliklerine ve farklı renklere sahip örnekler, detaylı şekilde tanımlamış ve temsilci blok örneklemelerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca Solak tarafından Kızılkaya formasyonu taş ocaklarından alınan örnekler üzerinde kimyasal analizleri yapılarak Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kızılkaya lokasyonundaki taş ocaklarının fiziksel ve mekanik özellikleri

Örnek	Lokasyon	Kuru Birim Ağırlık, γ (g/cm ³)	Ağırlıkça Su Emme, wa (%)	Efektif Porozite, ne (%)	Basınç dayanımı σ_c (MPa)
K1	Gümüşler-Üçkapılı Köyü arası	1,92	10,18	19,90	43,77
K2	Uluğağaç Köyü taş ocağı	1,38	18,63	26,13	7,69
K3	Aktaş Kasabası taş ocağı	1,31	25,18	33,55	5,45
K4	Kemerhisar – Gökbez arası otoyol kenarı eski taş ocağı	1,63	17,03	28,32	28,14
K5	Karatlı Köyü doğusu kaya mezarları mevkii	1,68	14,54	24,92	20,42
K6	Çavdarlı Köyü, Niğde-Çamardı yolu kenarı	1,37	20,37	28,38	8,28
K7	Yarhisar Köyü Çamardı yolu Çıkışı	1,63	16,14	26,80	25,52
K8	Elmalı Köyü Çamardı yolu çıkışı	1,46	22,49	33,45	11,31
K9	Kızılören Köyü taş ocağı	1,44	22,08	32,36	12,01
K10	Araplı Köyü	1,89	7,95	15,26	57,42
K11	Edikli Köyü taş ocağı	1,66	14,26	25,95	49,98

Çizelge 2.2. Kızılkaya ignimbiritine ait örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Özellik (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	A.K (1000°C)	Toplam
K1	72,96	13,05	1,87	0,64	1,41	2,98	4,04	0,23	0,06	0,06	2,4	99,93
K2	73,4	13,28	1,57	0,28	1,90	3,73	4,18	0,25	0,15	0,04	1,1	100,60
K3	69,32	14,69	3,16	0,57	2,26	3,76	4,45	0,34	0,08	0,09	1,0	100,05
K4	69,68	14,71	2,78	0,60	2,39	3,83	4,49	0,33	0,09	0,07	0,9	100,06
K5	74,24	13,05	1,88	0,25	1,49	3,61	3,98	0,23	0,04	0,06	1,0	100,07
K6	69,67	14,10	1,76	0,73	1,93	3,05	3,59	0,25	0,08	0,06	4,7	100,00
K7	68,24	15,66	2,96	0,47	2,61	3,99	4,10	0,36	0,10	0,06	1,3	99,97
K8	67,68	16,08	3,09	0,61	2,42	3,84	4,24	0,38	0,08	0,09	1,3	100,00
K9	69,97	14,98	2,64	0,46	2,06	3,84	4,28	0,33	0,08	0,08	1,1	99,97
K10	74,64	13,06	1,43	0,30	1,35	3,39	4,28	0,23	0,04	0,02	1,2	100,01
K11	75,12	2,87	1,39	0,26	1,14	3,46	4,53	0,22	0,05	0,03	0,8	100,00

Yıldız vd. (2014) tarafından, Sevinçli'nin (Aksaray bölgesinde) yakın bölgesindeki Kızılkaya ignimbiritlerinin mineralojik-petrografik, jeolojik ve fiziko-mekanik özellikleri inceleyerek, yapı taşı olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Araştırma bölgesi içinde yaklaşık 10-20m kalınlığa sahip olan birim olup, inceleme alanı dışındaki Ihlara vadisinde ise bu kalınlık yaklaşık 120m'e kadar ulaşmaktadır. İgnimbiritlerin arazi incelemelerinde düşey ve yanal yöndeki dokusal özelliklerinin homojen olmayıp farklılıklar içerdiğini gözlemlemiştir. Sevinçli yöresindeki ignimbiritlerin düşey yöndeki doku/yapı dağılımı tabandan tavana doğru farklılık sunduğunu, taban seviyelerinde süngertaşı parçalarının yoğun olarak bulunduğunu, orta seviyelerde süngertaşı parçaları oranının iyice azalarak üst seviyelerde ise gözlenmediğini belirtmiştir. Orta seviyeler kuvvetli, üst seviyeler zayıf kaynaklanmış tüf özelliğindedir. İgnimbiritlerin taban seviyelerinde gözlenen bol gözenekli süngertaşı parçaları, cüruf dokusu, düşey konumlu soğuma çatlakları boyunca atmosferik etkilerle gelişen ayrışmalar ve yanal yöndeki parçalı-bloklu yapılar kaya dayanımını olumsuz etkileyen önemli parametreler olduğunu belirtmiştir.

Aynı zamanda Yıldız vd. (2014), ignimbiritlerin özgül ağırlıkları iç ve dış cephe döşemesi için uygundur. Özgül ağırlıkları düşük olduğundan hafif yapı taşı olarak kullanımı, işlenmesi ve taşınması kolaydır. Ancak su emme oranının çok yüksek değerlere sahip olmasından dolayı, dış cephe kaplama malzemesi olarak uygun olmadığı belirlenmiştir. İgnimbiritlerin gözeneklilik açısından "fazla boşluklu", basınç dayanımına göre "düşük dayanımlı" kaya sınıfında, eğilme dayanımı açısından standart değerlerden düşük değer göstermesi, don sonrası basınç dayanımı açısından da standartla uygun olmadığı ve schmidt sertliği açısından "az sert" kaya sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Bu yüzden, Sevinçli (Aksaray) yöresindeki Kızılkaya ignimbiritlerinin fiziko-mekanik özellik bakımından yüksek dayanıma sahip olmadığı ve yapıtaşından ziyade çok iç döşeme taşı olarak kullanılmasının daha uygun olabileceği belirlenmiştir.

Bu ignimbiritler arasında yer alan karbonatlar henüz detaylı bir şekilde incelenmemiştir. Fosil içerisine göre bütün karbonatlar görsel ortamı göstermektedir. Bazı kireçtaşı tabakaları yer yer silisife olmuştur (Gürel, 2009).

Sarıkaya vd. (2015), geniş bir alana yayılan Kapadokya ignimbritlerinde (Kavak, Zelve, Cemilköy, Kızılkaya ve Gördeles ignimbritleri) oluşan erozyonlar üzerinde çalışmışlar. Erozyon oranlarını, kozmik nükleik analizlerle belirlemişler ortalama erozyon hızlarının jeolojik zaman ölçeği üzerinden, yüksek ve düşük erozyon oranlarına sahip olduklarını belirtmişlerdir.

2.2. Bölge Taş Ocakları İle İlgili Çalışmalar

Bölgede yoğun olarak bulunan ignimbritin genç jeolojik dönemde olması ve yumuşak yapısı ile insanların çok kolay kazabilmesine olanak sağlamıştır. Gereksinime göre genişletmeye, yeni koridorlar ve merdivenlerle birbirine bağlanmasını kolaylaştırmış. Yaşadıkları kaya mekanların gizlenmek ve savunmak için çok uygun olduğunu keşfedince de savunma mekanizmalarını ustaca geliştirmişlerdir. Önceleri kaya oyma mekanlarda yaşayan yöre halkı, ince taş işçiliğini mimari yapılara uygulamakta gecikmez. Kapadokya evleri yamaçlara, ya kayaların oyulması suretiyle ya da kesme taştan (ignimbrit) inşa edilmişlerdir. Mimari de kullanılan "kepez" adı verilen taşlar farklı renkli tonlar da içerir. Taşın bölgede bol bulunması, ocaktan çıktığında işlenmesinin çok kolay olması kullanımını yaygınlaştırmıştır. "Yontu taşı" denen yöresel taş türü beyaz, bej, açık kahverengi tonlarda kolay işlenebilen bir taştır. Bu özelliği dış ve iç mekanlardaki süslemelerle mimari yapıtlara büyük bir zenginlik kazandırmıştır. Kullanılan malzemenin bol olması ve kolay işlenebilmesinden dolayı yöreye has olan taş işçiliği gelişerek mimari bir gelenek halini almıştır.

Taş ocakları insanoğlunun taşta şekil vermesinden itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Anadolu'da, Hitit, Roma ve Bizans dönemlerinde kullanılmış çok sayıda tarihi taş ocağına sahiptir. Bugün ayakta duran birçok tarihi anıt ve taş yapılar içeren arkeolojik alanlarda bu taş ocaklarından alınmış taşlar kullanılmıştır (Saltık vd., 2007).

Bölge tarihsel süreç içinde pek çok uygarlığın yaşam alanı olmuştur. Coğrafi olarak bölgede en kolay bulunan inşa malzemesi taş olmuştur. Zamanla gelişen medeniyetlerde taş yontuculuğu ileri seviyelere gelmiştir. Bölgeye Türklerin yerleşmesi ile ignimbritlerin kolay işlenebilmesi nedeniyle taş işçiliği farklı boyuta taşınmıştır. Tarihsel süreçte bölgenin Türk mimarisi içinde önemli bir yer içerdiği görülmüştür.

Herhangi bir malzeme üzerine kaplama elemanı olarak kullanılırken, yapının çeşitli bölümlerinde süsleme amacı ile de kullanılmıştır (Şimşek, 2016).

Ülkemizin Kapadokya bölgesinde göreceli çok kullanılan, fakat bir o kadar az tanınan volkanik kökenli bu doğal taşının tip yeri, Nevşehir-Ürgüp-Avanos arasında kalan sahadır. Burası aynı zamanda Kapadokya Volkanik Provensi içindeki çeşitli birimlerin en iyi yüzeylendiği alandır (Kazancı ve Gürbüz, 2014). Egemen renginin pembemsi bej olmasına karşılık, alterasyon durumlarına bağlı olarak çeşitli renklerde de bulunabilir ve bunların her birine damarlı, mortaş, sarı, Kapadokya beji, gülkurusu, vişne gibi ayrı ad verilmiştir (Korkanç, 2007). İşletme açık ocaklarda, önemli miktar örtü kaldırılarak yapılır. Ayrıca bölgedeki yoğun turizm Nevşehir Taşı'nın da içinde bulunduğu Kapadokya Volkanik Provensi'nin bu bölümü, Ürgüp Formasyonu olarak haritalanmıştır. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı birim, gösel çökellerle ayrılır ve her biri ayrı adlarla anılan on bir adet ignimbrit seviyesi bulundurur. En altındaki Kavak İgnimbitidir (Gevrek, 1997). Nevşehir Taşı Kavak İgnimbiti'nden üretilmektedir. Nevşehir Taşı esas itibarıyla ince taneli piroklastik kayadır. Bileşiminde fazlaca pümis bulundurması ve zayıfça kaynaklaşmış olması dolayısıyla, petrografik bakımdan ignimbrit olarak tanınır (Kavak İgnimbiti). Hammadde olarak mühendislik özellikleri ve kimyasal bileşimi Korkanç (2007) tarafından incelenmiştir. Buradaki verilere göre %20 civarında etkin gözenekliliği vardır ve yine bu oranda su emer. Dayanımı düşüktür. Kavak ignimbitinin, dolayısıyla Nevşehir Taşı'nın petrografisi yörelere göre değişir. Bir başka ifade ile ticari olarak farklı adlarla anılan Nevşehir taşlarının yapısındaki camsı malzeme, pümis, kayaç parçası, kristal (bolluk oranlarına göre sırasıyla plajiyoklas, biyotit, amfibol, piroksen, sanidin, kuvars) varlığı değişkendir. En çok üretilen sarı ve Kapadokya beji olarak adlanan taşlardır (Kazancı ve Gürbüz, 2014).

Şimşek (2016), Taşın mimari yapıda kullanım amaçlarını taşıyıcı, kaplama, süsleme ve agrega olmak üzere 4 ana başlık altında özetlemiştir. Taş malzemenin yapıda doğrudan yapı taşı olarak kullanılabilir. Ayrıca taş malzeme çeşitli büyüklüklerde kırılıp elenerek ya da toz haline getirilerek harç veya sıva karışımlarında agrega olarak kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Günümüz beton teknolojisinde taş ocaklarının atıkları agrega olarak kullanılmaktadır. Kırma taş agrega olarak kullanılan malzeme konkasörler ile kırılarak boyutsal olarak

küçültülmektedir. Konkasörün uygun bir şekilde ayarlanması ile istenen boyutta agrega elde edilebilmektedir. Mıdır adı da verilen kırma taş agregalar kaba, ince ve mineral filler olmak üzere üç boyutta üretilmektedir. Tane dağılımının düzgün olması ve temiz olması durumunda, kırmataş agregalar pürüzlü ve köşeli yüzeyleri nedeniyle çimento harcı ile iyi bir şekilde bağlanabilmektedir. Ancak; agregaların basınç dayanımı, agrega tanelerinin kaynağını oluşturan kaya parçalarının basınç dayanımına bağlıdır. Kaya parçalarının porozitesi, jeolojik kökeni agreganın mekanik özellikleri hakkında ön fikir verebilir. Kaliteli beton üretiminde kullanılan agregaların basınç dayanımlarının 100 MPa'dan büyük olması istenmektedir. Basınç dayanımları agrega kökenine bağlı olarak ta büyük değişkenlik gösterir. Normal ağırlıklı agregaların dayanımı 200 MPa dolayındadır. 80 MPa'a düşen değerlere rastlandığı gibi 530 MPa gibi yüksek değerler de kaydedilmiştir (Baradan vd., 2012).

Korkanç (2007), Nevşehir ignimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına yönelik yapmış olduğu çalışmasında, bölgede oldukça geniş alanlarda yüzeylenen ve çeşitli volkanik kayaç parçalarına ait çakıllar ile pomza çakıllarından oluşmakta, iyi kaynaşmamış ignimbirit özelliklerini sunmakta olduğunu, özellikle tuf, marn ve kil içeren zayıf kayaların ıslanma ve kuruma sonucunda parçalanma ve zayıflamaya karşı gösterdiği direncin “orta derecede duraylı” kaya sınıfında yer aldığını belirtmiştir. Ayrıca, tek eksenli basınç dayanımları, ortalama 6,5 – 15 MPa arasında belirlemiş olup, İncelenen örneklerin düşük direnç göstermesinde kayacın iyi kaynaşmamış olması yanında, mineralojik özelliklerinin, birim ağırlık, ayrışma ve porozite değerlerinin yüksek olmasının da etkin olduğunu, Deer ve Miller (1966)'e göre, “çok düşük dirençli” kaya sınıflarında yer aldığını belirtmiştir.

Bölge taş ocakları atıklarının beton üretiminde kullanılamaz özellikleri taşıdığı görülmektedir ve halihazırda da ocak atıkları agrega olarak değerlendirilmemektedir. Bu çalışmanın materyalini oluşturan taş ocağının eksenel basınç gerilme değeri ise Solak (2012) tarafından 5,45 MPa olarak belirlenmiş olup beton agregası olarak kullanılamaz değerde olduğu için beton ve harç üretiminde kullanılamamaktadır.

Geçmişten günümüze doğal taş kullanımının popülerliği neredeyse hiç değişmemiş, artan talebi karşılamak için üretim yöntemleri değişim ve gelişim göstermiştir. İlkelden moderne doğal taş üretim metotlarında en önemli sorunlardan bir tanesi de üretim

yöntemi ne olursa olsun doğal taşın yapısı gereği atık ya da artık denilen malzemenin varlığıdır. Hem doğal taş ocaklarında hem de işleme tesislerinde üretimin bir sonucu olarak ortaya çıkan artıklar, üretim anlamında birçok zorluğu da beraberinde getirir. Artıklar ocak üretim maliyetini artırırken, çevresel kirliliğe de neden olmaktadır (Çelik ve Emrullahoğlu, 1999).

Özellikle Nevşehir bölgesinin turizm yönünden önemli beldeler arasında yer alması ve taş ocakları atıklarının çevreye verdiği zararları azaltmak için puzolanik malzeme olarak çimento, beton ve harç üretiminde kullanılması yönünde çalışmaların yapıldığı da görülmektedir. Beyhan vd. (2016), ülkemizde geniş alanlarda bulunan ve farklı kimyasal yapıya sahip olan volkanik tüf (doğal puzolan) malzemelerinin de değerlendirilmesiyle daha düşük maliyetli çimentolar elde edilebileceğinin yanında harçlarda belirli oranlarda çimento yerine ikame edilebileceğini belirtmişlerdir.

Bekar vd. (2006), sıva harcının birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla, harç içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasallar katkı maddeleri gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiç bir faydası da olmayabileceğini, Bu nedenle, en ideal karışım kombinasyonlarının kullanılan malzemenin hacim ölçüğüne göre çimento/tüf oranındaki karışımların (1/7-1/8) ve sıvı kullanımının saptanması gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak, volkanik tüflerin bünyesel ve kimyasal farklılık içermelerinden dolayı, uygulamalarda kullanılacak farklı tür katkı veya karışım oranlarının, çok değişik değerler sağlayabileceğini, bu bakımdan, tüf malzemelerin sıva malzemesi olarak kullanılabilmesi bakımından farklı tür katkılarla daha detay incelemelerin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çimento maliyeti ve tüketimini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip malzemeler katkılı çimento üretmek için kullanılabilir. Katkılı çimento, portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Kavas ve Çelik (2001), Ayazini (Afyon) civarında yüzeylemiş olan tüflerin çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliği araştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda Ayazini bölgesinde bulunan tüflerin katkılı çimento üretiminde tras olarak kullanılabilirliği belirtmişlerdir (Taban vd., 2012).

Doğadaki enerji ve hammadde kaynaklarının hızla tüketilmesi önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Çimento üretimi sırasında gereken enerji miktarını ve CO₂ emisyonu azaltmak için alternatif katkı malzemeleri tercih edilmektedir. Sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi günümüzde önem kazanmaktadır. Bu nedenle üretimi ve yaşam döngüsü boyunca az enerji tüketen, doğal hammaddelerle üretilen ve atık oluşum sırasında çevreye zarar vermeyen yapı malzemeleri tercih edilmelidir. Bu malzemelerden biride doğal puzolanlardır. Volkanik tüfü çimento üretiminde kullanılarak hammadde, enerji ve çevresel faktörlere doğrudan katkıda bulunulabilecektir (Taban vd., 2012).

Kapadokya bölgesindeki volkan külü veya taş ocakları atıklarının çimento üretiminde hammadde olarak kullanılması yönünde, Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Niğde Çimsa tarafından önemli çalışmalar yapılmıştır. 2000'li yıllarda Aktaş ve Kemerhisar yerleşkesi taş ocakları atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmış, ancak yeterli şekilde olumlu sonuçlar alınmadığı için sınırlı miktarda kullanılmıştır ve bir süre sonra vazgeçilmiştir. Bölgedeki volkan külü kullanımı yönünde de çalışmalar yapılmış bünyesel özelliklerinin çimento üretimine yeterli olmadığı için kullanılmamıştır.

Bilindiği üzere Kapadokya (Nevşehir) bölgesinde bulunan volkanik tuf ocaklarından çıkan atıklar ekonomik kayıplara ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Volkanik tuf posası tufün ocakta kesim esnasında ve fabrikada makinelerde işlenmesi sırasında açığa çıkan atıktır. Sınıksaran (2012), tarafından bu atık malzeme endüstriye kazandırılmaya çalışılmıştır. Çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanmak için matris malzeme olarak polyester, takviye malzemesi olarak volkanik tuf tozları (taş ocağı atığı) ve mermer tozları kullanılmıştır. Polimer sertleştirici olarak metil etil keton peroksit ve reaksiyon hızlandırıcı olarak kobalt oktoat kullanılmıştır. Elde edilen malzemeler açık havada kurutulduktan sonra volkanik tuf tozu/mermer tozu oranları parametrik olarak incelenmiş ve üretilen malzemenin yapı sektöründe kullanılabileceği görülmüştür.

Taş ocakları atıklarının kimyasal veya fiziksel durumunun değişiklikler göstermesi, rengini içindeki maden, tuz ve oksitlerden alan sert ve katı olması, bölgelere özgü bünyesel özellikler kazandırmaktadır. Özellikle taş ocaklarının işletilmesi esnasında

ortaya çıkan atık sorununun ortaya konulmasından ziyade, mevcut atıklarla neler yapılabileceğine dair de literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan biride yapı teknolojisinde yaygın olarak kullanılan tuğla üretiminde, atığın kil ile karıştırılarak kullanılabilirliği yönündedir. Taş ocağı atıklarının tuğla üretiminde kullanılması ile tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerine olumlu katkılar sağladığı birçok literatürde belirtilmektedir. Özellikle bölgenin Nevşehir Avanos yerleşkesinde yoğun olarak tuğla üretilmektedir. Ancak üretimde taş atığı kullanılmamaktadır. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılmakta olan çalışmada Avanos bölgesi tuğla üretiminde kullanılan kile, ağırlıkça %30 oranlarda taş ocağı atıkları katılarak çalışmalar yapılmaktadır. Bölgedeki killerin sinterlenme sıcaklığı yaklaşık 900 °C civarındadır. Bölgenin taş ocakları atıklarının (Kemerhisar ve Aktaş yerleşkesi taş ocağı atıkları hammadde olarak kullanılmıştır.) sinterlenme sıcaklıkları ise 1100 °C civarındadır. Tuğla üretiminde kullanıldığı takdirde atık malzeme fiziko-kimyasal değişim göstermemekte ve bünyesel özelliklerini korumaktadır. Bu nedenle ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerine olumsuz etki yapmaktadır. Ancak ağırlıkça %3 oranında katkı olarak kullanıldığı takdirde olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Bu durumda da ekonomik koşullar etki etmekte olduğu için tuğla üretiminde kullanıma endişe ile yaklaşılmakta olduğu sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM III

MATERYAL METOD

3.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Kapadokya bölgesinin hemen tamamında birbirine benzer ignimbirit formasyonu yer almaktadır. Formasyonların yaş, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre birçok bölgede yapı sektöründe doğal yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Bu ocaklardan biri de Niğde ili Aktaş yerleşkesinde bulunmaktadır. Ancak fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı halen işletilmekte olan taş ocağında aşırı şekilde atık çıkmaktadır ve bu atıklar çözülmesi gereken büyük çevre sorunu oluşturmaktadır. Çalışmada bu ocaktan çıkan atıkların geri dönüşümü yapılarak endüstriye kazandırılarak çevre sorununa da çözüm amaçlanmıştır. Aynı formasyonda bölgede birçok taş ocakları işletilmekte ve bütün ocaklarda atık sorun oluşturmaktadır. Çalışılan formasyonun kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirine benzediği için Aktaş kasabası taş ocağı atığının endüstriye kazandırılması ve bertaraf edilmesi, aynı zamanda diğer ocakların da atığının endüstriye kazandırılmış olması çalışma konusunu oldukça önemli kılmaktadır.

3.2 Materyal

Çalışma konusunun materyalini Kapadokya bölgesi Kızılkaya formasyonunun Niğde ili sınırları içerisinde yer alan Aktaş kasabasında bulunan ignimbirit taş ocağı atıkları oluşturmaktadır. Taş ocağı atıkları laboratuvarında öğütülmüş ve 1mm elekten elendikten sonra alta geçen malzemenin 0-1mm granülometrik dağılımı çalışma materyalini oluşturmuştur. Öğütülerek hazırlanan ince agreganın şekillendirilmesinde, belirli oranlarda alçı bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda alçı, ortam sıcaklığında mukavemet kazandığı için numunelerin yatay ve düzey taşınmasında yardımcı olmuştur.

Atıkların alındığı birim olan Kızılkaya ignimbiriti ilk kez Beekman (1966) tarafından tanımlanmıştır. Bu geniş yayılıma sahip birim, ismini Aksaray'ın 20km doğusundaki Kızılkaya köyünden almıştır. Güzelyurt, Alanyurt, Demirci, Doğantarla yerleşim merkezlerinde ve Ihlara vadisinde tipik mostralar verir. Kızılkaya ignimbiritinin en

belirgin litolojik ve morfolojik özelliği kaynaşmış olması, kırmızımsı kızıl rengi ve soğuma çatlaklarının bulunmasıdır. Kendisinden daha yaşlı birimlerin üzerine örtü oluşturacak şekilde yayılır.

Adı geçen bölgede; Kızılkaya ignimbiritleri yörede masa tepeler şeklindeki görünümüyle kılavuz seviye durumunda olan ignimbiritlerin çeşitli büyüklükteki mostraları en geniş olanlarıdır. Bu birimin masa kaya tepe görünümlü örneği ve altındaki Selime tüfleri ile olan dokanak ilişkisinin en güzel görüldüğü yer Kızılkaya köyü kuzeyidir.

3.2.1 Materyalin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Geniş bir alanı kapsayan Kızılkaya ignimbiritinin çeşitli bölgelerde taş ocağı işletmesinin yapıldığı bilinmektedir. Kızılkaya formasyonu ignimbirit atıklarının değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu çalışmada Aktaş kasabası yerleşkesinin hemen içerisinde bulunan taş ocağı işletim alanı, çalışma materyali olarak seçilmiştir. Çalışma materyalinin alındığı Kızılkaya formasyonuna ait Aktaş kasabası ignimbirit taş ocağının işletim alanının genel görünüşü Fotoğraf 3.1’de verilmiş olup bu ocağın atık olarak nitelendirilen taş kırıklarının muhtelif noktalarından, yaklaşık 1000kg olarak alınan hammadde, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında öğütülerek yığın oluşturulmuştur.

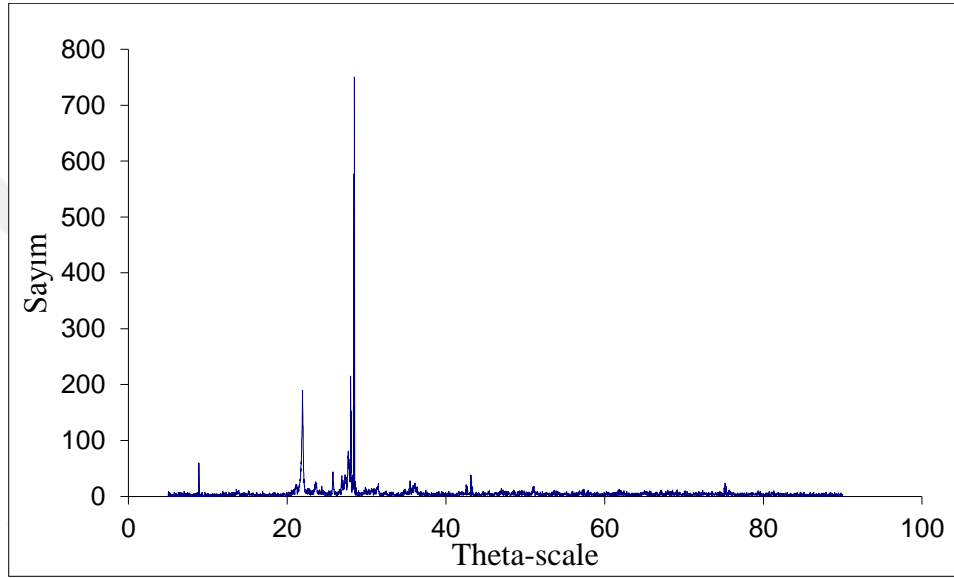


Fotoğraf 3.1. Aktaş köyü taş ocağından görünüm (Solak, 2012’den alınmıştır)

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında öğütülen yığından alınan temsili numunenin kimyasal analizi Erciyes Üniversitesi (TEKMER) Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yaptırılarak XRD (X Ray Diffraction) analizi Çizelge 3.1’de Majör Element analizi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. XRD analizi

(11.03.2014.raw-Type:2Th/Th locked-Start:5:000°-End:90.000° -Step:0.020° -Step time:1. s-Temp.:25°C (Room)-Time Started:1 s-2-Theta:Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000, 1.000 | Import)



Çizelge 3.2. Aktaş numunesinin kimyasal içeriği

Kimyasal adı	% oran
SiO ₂	50,97
Al ₂ O ₃	11,58
Fe ₂ O ₃	6,77
CaO	8,40
MgO	3,90
Na ₂ O	1,83
K ₂ O	2,31
SO ₃	0,13
LOI	11,63
Diğer	--

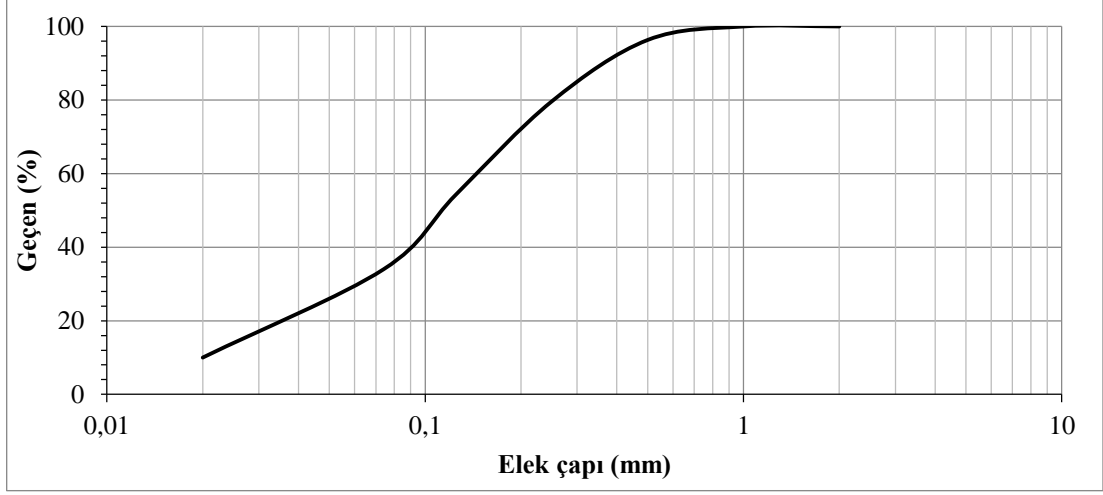
Aktaş kasabası taş ocağından alınan ve yapı taşı olarak kullanılan taş numunenin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacı ile Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında bazı deneysel incelemeler yapılmıştır. Ayrıca öğütülen ve 1 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçirilen numunenin etüv kuru ve

laboratuvar ortamı hava kuru birim hacim ağırlıkları (BHA) ölçülmüş, elde edilen değerler toplu olarak Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kızılkaya formasyonu aktaş taş ocağı ignimbiritinin fiziksel özellikleri

Tanım	Birim	Değer
Etüv kuru birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,35
Doygun (hava) birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,67
Ağırlıkça su emme	%	25,12
Efektif Porozite	%	33,51
P-Dalga hızı değeri	m/sn	1042,49
Nokta yük dayanım indeksi	MPa	0,45
Schmidt çekici sertlik indeksi	SHV (L-tipi)	27,8
Tek eksenli basınç dayanımı	kg/cm ²	56,69
Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi	%	91,99
Çivi penetrasyon deneyi	mm	51,28
Kılcal su emme katsayısı	C1 (gr/m ² s ^{0,5})	815,70
Toz numune etün kuru gevşek birim hacim ağırlık	g/cm ³	0,94
Toz numune etüv kuru sıkışık birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,11
Toz numune hava kuru gevşek birim hacim ağırlık	g/cm ³	0,96
Toz numune hava kuru sıkışık birim hacim ağırlık	g/cm ³	1,21
Toz numune özgül ağırlık	g/cm ³	2,57
Toz numune yanıcı madde miktarı	%	1

Çizelge 3.3’deki fiziksel özelliklere sahip Aktaş kasabası yerleşkesi taş ocağı işletmesinin atıkları çeneli kırıcıdan sonra değirmende öğütülerek 1mm kare gözlü elekten elenmiş ve yığın oluşturulmuştur. Eleme sırasında 1mm göz açıklığına sahip elek üzerinde ortalama % 2 civarında iri malzemenin kaldığı gözlenmiştir. Deney numuneleri üretiminde elek altı malzemeler kullanılmıştır. Üretimde kullanılan taş unu malzemenin elek analizi yapılarak granülometrik dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Malzemenin elek analizi

3.2.2 Alçı

Alçı, kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan alçıtaşının (jips) uygun sıcaklıkta ısıtılarak, atmosfer basıncı altında kısmi dehidratasyon işlemine uğratılıp, öğütülmesi ve elenmesi ile elde edilen bir bağlayıcıdır. Bu bağlayıcı suyun etkisiyle donup sertleşebilen bir yapı malzemesidir. Beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türü olan alçı, su ile karıştırıldığında kısa süre içinde katılaşma özelliği gösterir.

Alçı yapımında kullanılan alçıtaşı (jips), çoğunlukla beyaz ve yumuşak bir mineral olup, özgül ağırlığı $2,3 \text{ g/cm}^3$, sertliği 1,5-2 civarındadır. Asitlerden etkilenmez, suda az çözünür. Türkiye'de alçıtaşı, Burdur, Kütahya, Ankara, Bandırma, İstanbul dolaylarında bulunmaktadır. Günümüzde ısı iletkenlik değerleri saptandığında, alçının ısı iletkenlik değerinin doğal malzemeler arasında ahşaba çok yakın olduğu ve diğer doğal malzemelerden daha az ısı ilettiğine sahip olduğu bilinmektedir.

Numune üretiminde şekil bütünlüğünün korunması ve yatay-düşey taşıma yapılabilmesi için bağlayıcı olarak alçı kullanılmıştır. Alçı normal alçı (Kartonpiyer alçısı) olup priz süresi, 8dk'dan az olmamıştır. Alçı, TS EN 13279-1 "Yapı ve Sıva Alçıları" standardına göre "Ak Alçı" fabrikasında üretilmiş olup 30kg'lık kâğıt torba içinde piyasadan temin edilmiştir. Kullanılan alçının kimyasal analizi Erciyes Üniversitesi (TEKMER) Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yaptırılmış ve Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Alçının kimyasal analizi

Kimyasal birleşik	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Kızdırma kaybı
%	0,42	39,75	0,12	0,09	0,22	0,02	-	-	50,26	9,05

3.2.3 Su

Çalışmada karışım suyu olarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır.

BÖLÜM IV

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Giriş

Bu çalışma için üretilen numuneler üzerinde iki aşamalı çalışmaların yürütülmesine karar verilmiştir. Birinci aşamada; her farklı karışım oranları ve farklı pişirme sıcaklıklarında, bir saat süreyle pişirilen numunelerin aksel basınç gerilmeleri, birim hacim ağırlıkları ve gözle görülebilen deformasyon özellikleri incelenmiş olup diğer fiziksel özelliklerine bakılmamıştır. Bu incelemeler neticesinde deformasyon görülmeyen numunelerin en yüksek aksel basınç gerilmeleri, en düşük birim hacim ağırlıkları ve şekilsel deformasyonların olmadığı numunelere göre, optimum karışım parametreleri ile optimum pişirme sıcaklığının belirlenmesine karar verilmiştir.

İkinci aşamada; birinci aşamadan elde edilen optimum deney parametrelerine ve pişirme sıcaklıklarına göre aynı ortam şartlarında yeniden numuneler üretilmiştir. Bu aşamada üretilen numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için numuneler üzerinde aksel basınç gerilme, birim hacim ağırlık, porozite, su emme yüzdeleri, donma-çözülme sonu basınç gerilmeleri, aşınma ve ısı iletim katsayısı değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine tesir edebilecek parametrelerden biride sabit pişirme sıcaklığı süresidir. Birinci aşamada optimum dizayn olarak seçilen numunelerin karışım parametrelerine göre yeniden üretilen numunelerde pişirme süresinin etkilerini de incelemek için 1-15-30-60-90 ve 120 dakika sürelerde pişirilmiştir. İkinci aşamada da seçilen 60 dakikalık pişirme süresi, birinci aşamada elde edilen dotalar ile (aksel basınç gerilmeleri ve BHA değerleri) karşılaştırılarak üretim akışı doğruluğunun teyit edilmesi hedeflenmiştir. Bu aşamada elde edilen numunelerin bütün fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek, atık malzemelerden yeni bir ürünün üretilmesi ve yapı sektöründe kullanılabilirliği irdelenmiştir.

4.2 Birinci Aşama Deneysel Çalışma

Bu aşamada; farklı oranlarda ve pişirme sıcaklıklarında numuneler üretilmiştir.

4.2.1 Hammadde hazırlama

Numune üretiminde kullanılan Kızılkaya formasyonuna ait Aktaş Kasabası taş ocağından temin edilen atık hammadde laboratuvara getirildikten sonra çeneli kırıcıda maksimum tane çapı 5mm olacak şekilde kırılmıştır. Kırılan numuneler 1mm göz açıklığına sahip elekten elenerek alta geçen ile hammadde yığını oluşturulmuştur. Elek üstünde kalan hammadde ise Fotoğraf 4.1'de görülen ve Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan bilyeli değirmende öğütülerek elenmiş ve 0-1000 mikron tane dağılımına sahip yığın oluşturulmuştur ve bu numune yığınının hava ve etüv kurusu birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.



a



b

Fotoğraf 4.1. Yatay eksenli değirmen (a) ve bilyeler (b)

4.2.2 Numune üretimi

Deney numunelerinin hazırlanmasında iki farklı (Alçı+taş unu) hammadde kullanılmış olup bu iki malzemenin birim hacim ağırlıkları birbirine yakın olduğu için hacimsel oranı ile karışım yerine, ağırlık esaslı karışım oranları dikkate alınmıştır. Karışımlar 100*100*100mm anma ölçülerine sahip küp numuneler için oluşturulmuştur. Numune üretiminde taş ununun hava kurusu gevşek birim hacim ağırlığı esas alınarak 1dm³ için 960g hesaplanmasına rağmen karışımın yerine dökülüp sıkıştırma oranı da dikkate alınarak %30 artırılmak suretiyle hesaplanmış ve ön çalışmalarda bu oranın yeter olduğu görülmüştür. Bütün numunelerin üretiminde 1250g taş unu ağırlığı standart

olarak alınmıştır. Karışımda kullanılan alçı miktarı ise karışıma giren 1250g taş unu ağırlığı miktarının ağırlıkça %'si olarak alınmıştır. Karışımda kullanılan su miktarları da alçı oranlarındaki artışa bağlı olarak karışım kıvamı, gözlem esas alınarak bulunmuştur. Aynı zamanda, yapılan ön çalışmalarda karışımda kullanılan su miktarlarındaki sapmaların, üretilen deney numunelerinin basınç gerilme değerlerinde etken bir parametrenin olmadığı gözlenmiştir.

Çalışmada üretilen deney numunelerinin karıştırılmasında Fotoğraf 4.2'de görülen masa tipi mikser kullanılmıştır. Masa tipi mikserin içine ön çalışmalarda belirlenen miktarda su konmuştur. Daha sonra atık taş unu ilave edilmiştir. Numuneler mikserde düşük hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma giren oranda alçı ilave edilmiştir ve aynı hızda 1 dakika daha karıştırılmıştır. Mikser orta hıza alınarak alçı+taşunu+su ile birlikte 3 dakika olmak üzere toplamda 5 dakika karıştırılmıştır. Karışımda kullanılan alçının su ile temasından sonra işleme süresinin 8 dakika olması dikkate alınarak bu sürenin yeter olduğuna karar verilmiştir.

Mikser karıştırma kapasitesi 5 litre olduğu için numune karışımları bir seferde 3 adet numune üretebilecek kadar malzeme ile yapılmıştır. 1 adet 100x100x100mm küp numune üretimi için gerekli olan karışım miktarları ve hava kurusu BHA'ları Çizelge 4.1'de, karışım oranlarına ve pişirme derecelerine göre numune sayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de bulunan notasyonlar N; numune numarasını, alt indis alçı karışım oranını ifade etmektedir. Çizelge 4.2'de bulunan notasyonlar ise N; numune numarasını, alt indis (N₉₀₀₋₁) i; pişirme sıcaklığını ve 1 numune grup numarasını ifade etmektedir.

Birinci aşama için üretilen deney numunelerinde; toz haline getirilen atık taş ununun hava kurusu durumundaki ağırlıkları miktarlarının, % 0-5-7-10-15 ve 20 oranlarına göre hesaplanarak alçı katılmıştır. Oluşturulan numune hammaddeleri plastik kıvama gelecek şekilde karıştırılıp kalıplanmış ve Çizelge 4.1'de numune üretiminde karışıma giren malzeme ve su miktarları özetlenmiştir. Su miktarlarında görülen farklılıklar, karışıma giren alçı miktarlarındaki artışlardan kaynaklanmaktadır.



Fotoğraf 4.2. Masa tipi mikser

Çizelge 4.1. Karışıma giren numune miktarları

Numune	Taş unu (BHA) g/cm ³	Alçı (BHA) g/cm ³	Taş unu g	Alçı %	Alçı g	Su g
N ₀	0,96	1,05	1250	0	0	495
N ₅	0,96	1,05	1250	5	62,50	545
N ₇	0,96	1,05	1250	7	87,50	565
N ₁₀	0,96	1,05	1250	10	125,00	560
N ₁₅	0,96	1,05	1250	15	187,50	590
N ₂₀	0,96	1,05	1250	20	250,00	620

Çizelge 4.2’de her bir karışım ve pişirme grubu için kullanılan % alçı oranlarına üretilen numune grupları ve sayıları verilmiştir. Alçı oranlarına göre 60 adet, toplamda 360 adet numune üretilmiştir. Daha sonra düşey sütuna göre gruplandırılarak pişirilen bu numunelerin BHA’lıkları hesaplandıktan sonra 3’er tanesi eksenel basınç gerilme değerlerinin tespitinde kullanılmış, 3 tanesi de şahit numune olarak saklanmıştır.

Çizelge 4.2. Karışım oranlarına ve pişirme derecelerine göre numune sayıları

Numune	N ₉₀₀₋₁	N ₉₅₀₋₂	N ₁₀₀₀₋₃	N ₁₀₂₅₋₄	N ₁₀₅₀₋₅	N ₁₀₇₅₋₆	N ₁₁₀₀₋₇	N ₁₁₂₅₋₈	N ₁₁₅₀₋₉	N ₁₂₀₀₋₁₀
N ₀	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N ₅	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N ₇	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N ₁₀	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N ₁₅	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N ₂₀	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Toplam	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

4.2.3 Şekillendirme

Masa tipi mikserde plastik kıvama getirilen numune hamuru; deneyler için Fotoğraf 4.3'de görülen plywood malzemeden 100x100x100mm boyutlarında küp şeklinde imal edilmiş, numuneler dökülmeden önce her seferinde ince yağ (kalıp yağı) ile yağlanmış kalıba 1 dakika sürede yerleştirilmiştir. Karışımın kalıplanması esnasında yerleştirme yapılmış ve Ø 10mm'lik şişleme çubuğu ile sıkıştırılmıştır.

Üretilen numunelerde çabuk hidrate olan alçı kullanıldığı için yaklaşık 60dk sonra tamamen hidrate olmakta ve yatay-düşey taşıma yapılabilir. Bu sebeple daha fazla kalıp süresi beklenmeden kalıptan çıkartılarak numaralandırdıktan sonra laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.



Fotoğraf 4.3. Numune kalıbı

4.2.4 Kurutma

Kurutma, şekillendirmeye uygun bir kıvama getirmek için katılan suyun farklı yöntemlerle çıkarılma işlemidir. Kurutma işleminde doğal kurutma ve suni kurutma olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada her iki yöntem de kullanılmıştır. Doğal yöntem atmosferdeki ısı enerjisinden faydalanma prensibine dayanan bir sistemdir. Yaş olarak kalıptan çıkartılan numuneler, kurutma sehpasına belli bir düzende dizilip her bir sınıf ayrı ayrı numaralandırıldıktan sonra doğal ortamda kurumaya terk edilmiştir. Doğal kurumaya bırakılan numuneler Fotoğraf 4.4’de verilmiştir. Bu kurutma yöntemi, kurutma işleminde ek bir enerji gerektirmediği için ekonomiktir. Ancak bu çalışmada ilk önce doğal kurutma yönteminin uygulanmasının nedeni pişirme esnasında bünyesindeki mevcut suyun çok hızlı şekilde atılarak numunelerdeki olabilecek kılcal çatlamanın önlenmesi hedeflenmiştir. En az 24 saat oda sıcaklığında ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$) kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra doğal ortamda kurutulan numuneler etüvde $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ ’de etüv kurusu durumuna gelene kadar kurutulmuştur. Numuneler üzerinde gerekli boy ve ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra pişirme işlemine geçilmiştir.



Fotoğraf 4.4. Doğal ortamda kuruyan numuneler

4.2.5 Pişirme

Pişirme işlemi Fotoğraf 4.5’de görülen ve İnşaat Mühendisliği laboratuvarında bulunan, 1200°C çalışma sıcaklığına kadar yükselebilen, her sıcaklık kademelerinde otomatik olarak ayarlanabilen ve pişirme haznesi hacmi 0,120m³ olan fırın kullanılmıştır. Fırın otomatik olarak dakikada 15°C artış gösterecek ve her sıcaklıklarda istenilen sürelerde bekletilecek şekilde ayarlanabilmektedir.

Laboratuvar ortamı sıcaklığında dökümden sonra üç gün boyunca kurumaya bırakılan numuneler, Çizelge 4.2’de belirtildiği şekilde numune grubuna (N_{i-1}...) ayrılmış ve oluşturulan grupların numune üretimine geçilmiştir. Daha sonra gruplanan numuneler N_{i-a} göre fırın içerisine yerleştirilmiştir. Gruplardaki i alt indisi; 900–950–1000–1025–1050–1075–1100–1125–1150 ve 1200°C’de pişirme sıcaklıklarını, a ise numune gruplarını ifade etmektedir. Numune üretiminde homojenlik sağlanması için bütün numuneler 60 dakika sürelerde sinterlenmiştir. Sinterlenme (Pişirme) işleminde sürenin 60 dakika olarak kabul edilmesinin nedeni, genellikle tünel tipi tuğla pişirme fırınlarında tuğlaların cehennemlikte 60 dakika bekletilmiş olmasıdır. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi her bir grup sinterlenme derece sıcaklığı için 36 adet numune (bir pişirme numune grubu) oluşturulmuştur. Aynı zamanda bütün numunelerin pişirmeden önce ağırlık ve ebat ölçümleri yapılmıştır.



Fotoğraf 4.5. Pişirme fırını

Her bir grup numune fırın içine yerleştirildikten sonra yüksek derecelerde bünye suyunu hızlı atarak deformasyonların önüne geçmek amacı ile 300°C sıcaklıkta 12 saat süre ile kurutularak bünye suyunun tamamen atılması sağlanmıştır. Bu derecede 12 saat süre bekletildikten sonra sinterleme sıcaklığına ulaşması için fırın dakikada 5°C artacak şekilde ayarlanmıştır. İstenilen sıcaklık derecesine ulaştıktan sonra, bu sıcaklıkta her bir pişirme numune grubu bir saat bekletilmiştir. Daha sonra otomatik şekilde fırının enerjisi kesilerek fırının iç sıcaklığı 75°C sıcaklık altına düşene kadar beklenmiştir. Sıcaklığın 75°C sıcaklık altına düşene kadar bekletilmesindeki amaç, sıcak numunelerin soğuk hava ile temaslarında, farklı gerilmelerden dolayı çatlama ve fiziksel deformasyonların önlenmesidir.

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen numuneler fırından alındıktan sonra her birinin tekrar ağırlık ve ebat ölçümleri yapılmıştır. 300°C sıcaklıkta kurutularak bünye suyunun atılması ve pişirme işlemi esnasında hammadde içinde olası organik maddelerin yanması nedeniyle ağırlıklarında değişme gözlenen numunelerinin birçoğunda boyutlarının herhangi bir değişimi gözlenmemiştir.

Ortamda kurumaya bırakılan ve fırında kurutulan numunelerin kuruma aşamasında, serbest halde bünyesinde bulunan suyu kaybetmesinden dolayı ağırlıklarında azalma ve boyutlarında küçülme olması beklenen sonuçtur. Ancak numunelerin sinterlenmesinden sonra, numuneler üzerinde yapılan boyut ölçümlerindeki değişim, hemen bütün numunelerde gözlenmiştir. Numunelerdeki büzülme ortalama % 1'den az olduğundan dolayı hacim küçülmesi oranının ihmal edilebilecek mertebede olduğuna karar verilmiş ve değerlendirilmeye alınmamıştır.

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın birinci aşaması için üretilen numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, deney parametresi olarak eksenel basınç gerilmeleri ve birim hacim ağırlık değerleri esas alınmıştır. Elde edilen datalar sonucunda optimum pişirme sıcaklığı ve numune karışım parametresi tespit edilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda ikinci aşama için yeniden numuneler üretilerek, elde edilen yapı malzemesinin diğer fiziksel özellikleri de belirlenmiştir.

5.1 Birinci Aşama Deneysel Bulgular

5.1.1 Eksenel basınç gerilmesi

Eksenel basınç gerilmesi testleri için, numune önce TS 699 ve TS EN 1926 belirtilen “Hava kurusuna şartlandırma” yöntemiyle, laboratuvar ortamında değişmez ağırlığa ulaşana kadar bekletilerek şartlandırılmıştır. Şartlandırma, numunelerin 24 saatten az olmayan zaman aralıklarıyla tartılmasıyla belirlenen kütleler arası farkın toplam kütlelerin % 0,2’sinden az olması esasına göre yapılmıştır. Aynı standartta verilen yöntemler doğrultusunda, istenen yükleme hızı limitlerinde yükleme yapılarak Fotoğraf 5.1’de görülen tek eksenli basınç presi yardımı ile teste tabi tutulmuştur. Numunelerin eksenel basınç gerilmesi değerlerini bulmak için aynı şartlarda üretilen ve eksenel basınç gerilmeleri değerleri birbirinden %20 farkı olmayan 3 numunedan elde edilen değerlerinin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun eksenel basınç gerilmesi değerleri aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunmuştur.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (5.1)$$

Bağıntıda;

σ_b : Basınç (MPa)

P: kırılma yükü

A: kuvvet uygulanan yüzey alanını ifade etmektedir.

5.1 bağıntısı için kullanılan numuneler taş kesme makinesinde 70x70x70mm küp şekline getirilmiş ve 0,1mm hassasiyetindeki kumpas ile boy ölçümleri yapılmıştır. Boyutsal farklılıklar 0,5mm den fazla olmadığı için boyutsal homojenliğin sağlandığı kabul edilmiştir. Ancak basınca tabi tutulan yüzeyin alan hesaplamasında kumpas ile ölçülen gerçek boyutlar dikkate alınmıştır.

Yük, basınç gerilmesi saniyede yaklaşık 1,0 MPa- 1,2 MPa artacak şekilde ve ani dinamik yüklemesiz olarak deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanmıştır. Pres göstergesinden okunan en büyük yük, otomatik olarak tespit edilmiş ve eksenel basınç gerilmesi MPa olarak verilmiştir. Aynı zamanda kullanılan prese deneye başlamadan önce numune boyutları kaydedilebilmektedir.



Fotoğraf 5.1. Tek eksenli basınç presi

Üretilen numuneler kalıplanmadan önce kalıplar yağlanmasına rağmen kalıplardan sökülürken bazı numunelerin kalıp yüzeylerine yapıştığı görülmüştür. Aynı zamanda 1150 ve 1200°C'lerde (özellikle 1200 °C'lerde) sinterlenen numunelerde şekilsel deformasyonlar oluşmuştur. Bu şekilde teste tabi tutulan numunelerin basınç gerilme değerlerinde önemli sapmalar olabilmektedir. Bundan dolayı numuneden kaynaklanabilecek hataları elimine etmek için deformasyona uğrayan numunelerin prese

yerleştirilen yzeyleri Mühendislik Fakültesinde bulunan ve Fotoğraf 5.2’de görülen taş kesme makinesinde kesilerek düzeltilmiştir. TS 699’a göre basınç mukavemeti deneyi için genellikle kenarları yaklaşık 70mm olan küp deney numunelerinin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Numunelerin deneye hazırlanması sırasında düz yüzey oluşturulduğundan dolayı 100mm’lik numune boyutu, bütün numune boyutlarında homojenlik sağlamak ve standarda uygun hale getirmek amacı ile kesme makinesinde kesilerek 70x70x70mm ölçülerinde küp numuneler olarak sabitlenmiştir.

Boy düzeltme esnasında taş kesme makinesi su soğutmalı olduğu için bütün numuneler ıslanmıştır ve etüv kurusu durumuna getirildikten sonra basınç gerilmeleri ölçülmüştür. Numuneler pişirildiği için döküm ile basınç gerilmelerinin tespitinde zaman aralığı dikkate alınmamıştır. 5.1 bağıntısına göre elde edilen sonuçların aritmetik ortalama değerleri Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

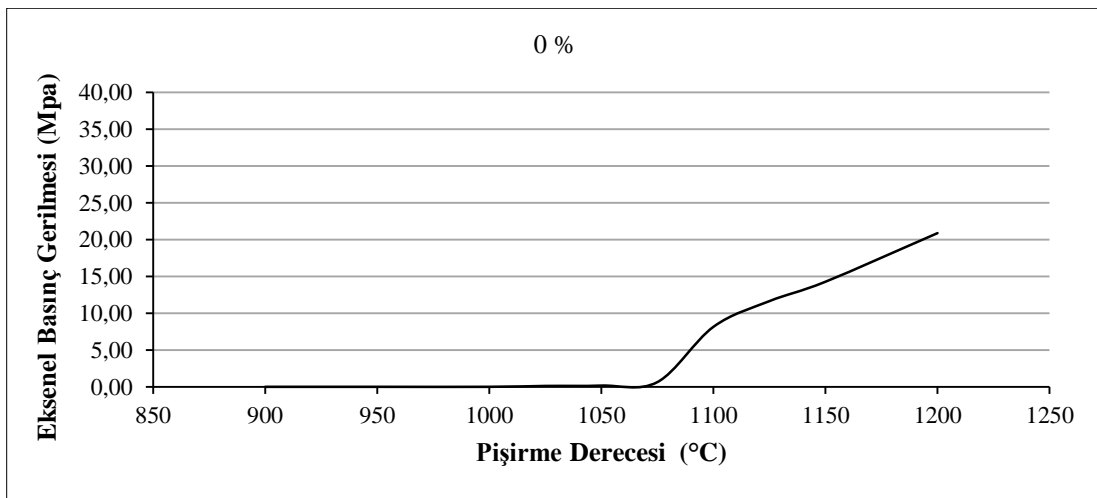


Fotoğraf 5.2. Kesme makinesi

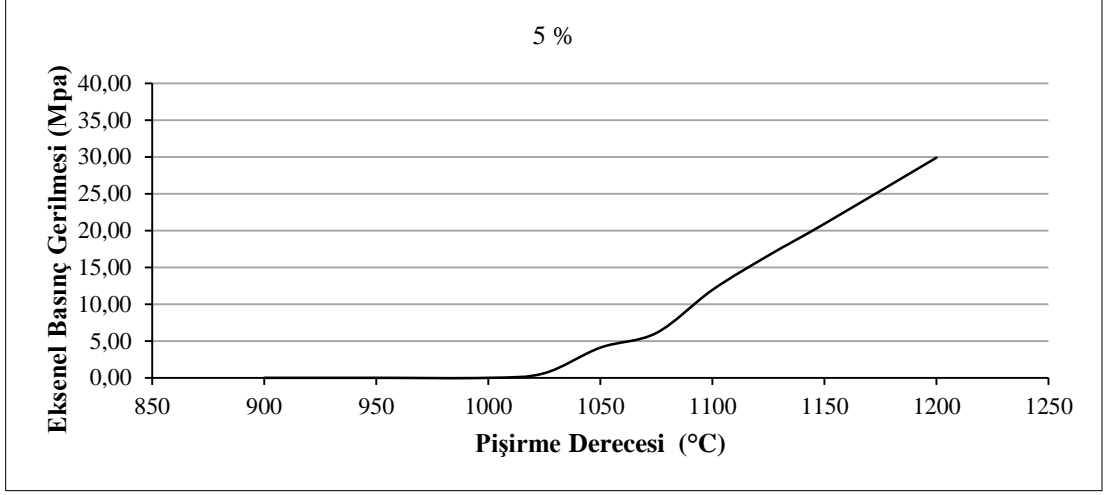
Çizelge 5.1. Eksenel basınç gerilmeleri

Numune grubu Pişirme sıcaklığı °C	Numune grupları eksenel basınç gerilmesi (σ_b =MPa)					
	N ₀	N ₅	N ₇	N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
N ₉₀₀₋₁	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₉₅₀₋₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₁₀₀₀₋₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₁₀₂₅₋₄	0,12	0,63	0,65	0,70	0,85	0,56
N ₁₀₅₀₋₅	0,17	4,10	4,37	5,32	5,73	7,25
N ₁₀₇₅₋₆	0,64	6,09	5,95	7,30	8,31	7,63
N ₁₁₀₀₋₇	8,14	11,94	12,08	13,15	17,10	12,69
N ₁₁₂₅₋₈	11,64	16,61	17,09	19,22	22,78	17,10
N ₁₁₅₀₋₉	14,27	20,92	21,18	23,04	27,30	22,24
N ₁₂₀₀₋₁₀	20,87	29,90	30,26	32,92	36,89	31,78

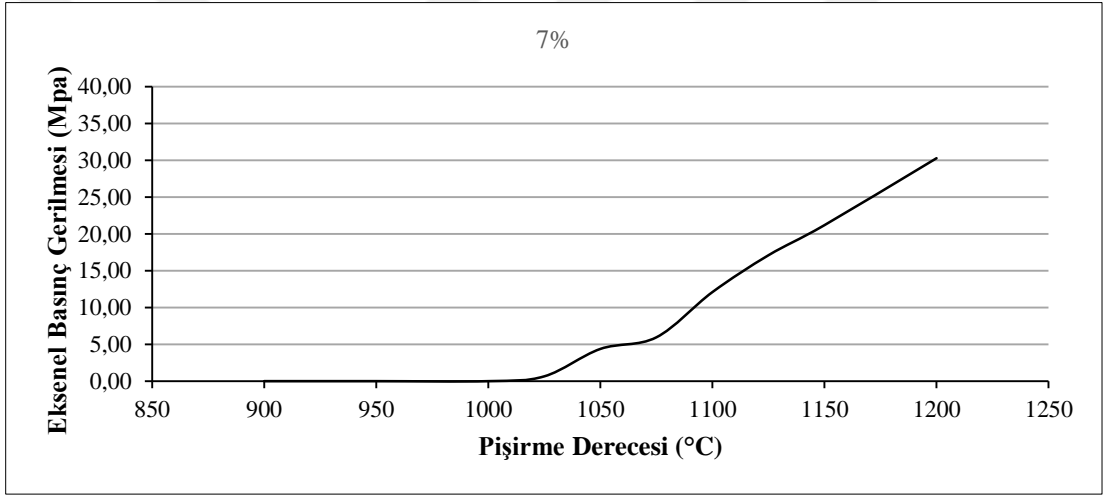
Çizelge 5.1’de görüleceği gibi, farklı alçı karışım oranına sahip numunelerin basınç dayanım değerleri alçı katılmayan numunenin basınç gerilmesinden büyük çıkmıştır. Ancak, numunelerin pişirme sıcaklığı arttıkça, basınç dayanım değerlerinde de artış gözlenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen numunelerin Çizelge 5.1’de bulunan basınç dayanım değerleri Şekil 5.1-5.15’de görsel hale getirilmiştir.



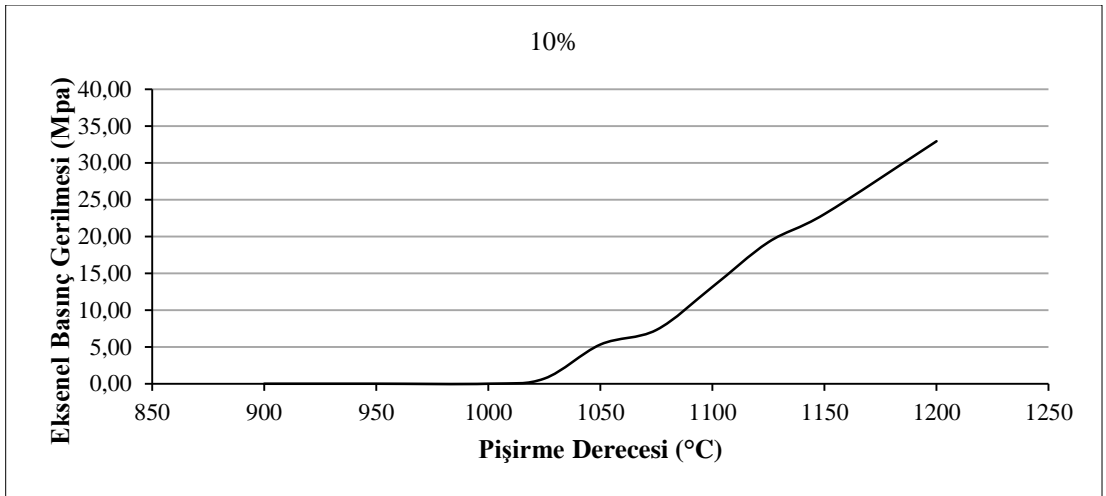
Şekil 5.1. % 0 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



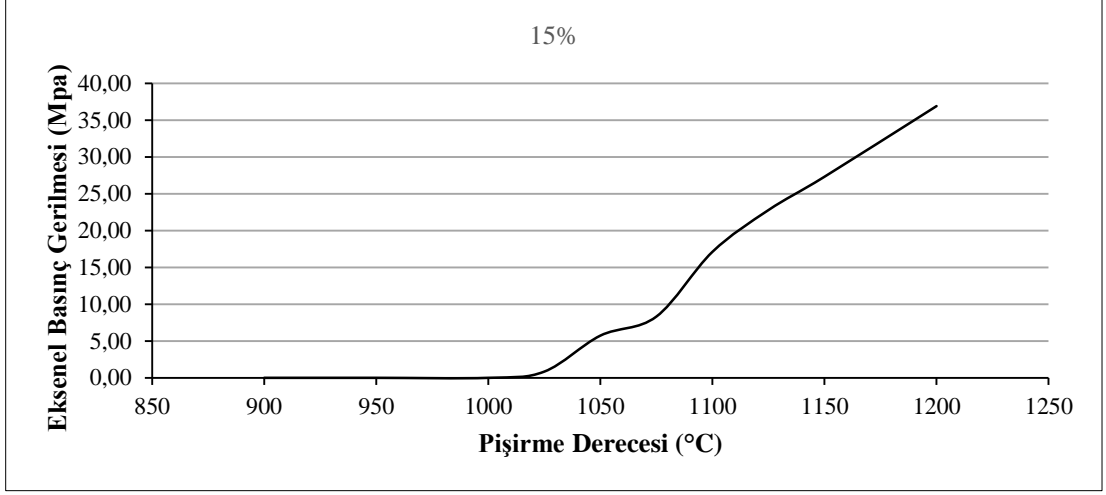
Şekil 5.2. % 5 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



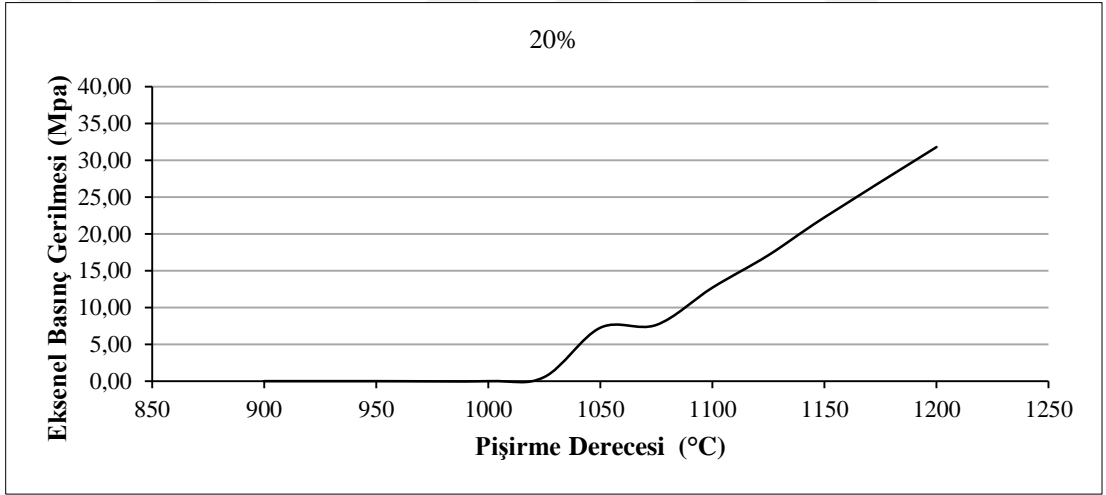
Şekil 5.3. % 7 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



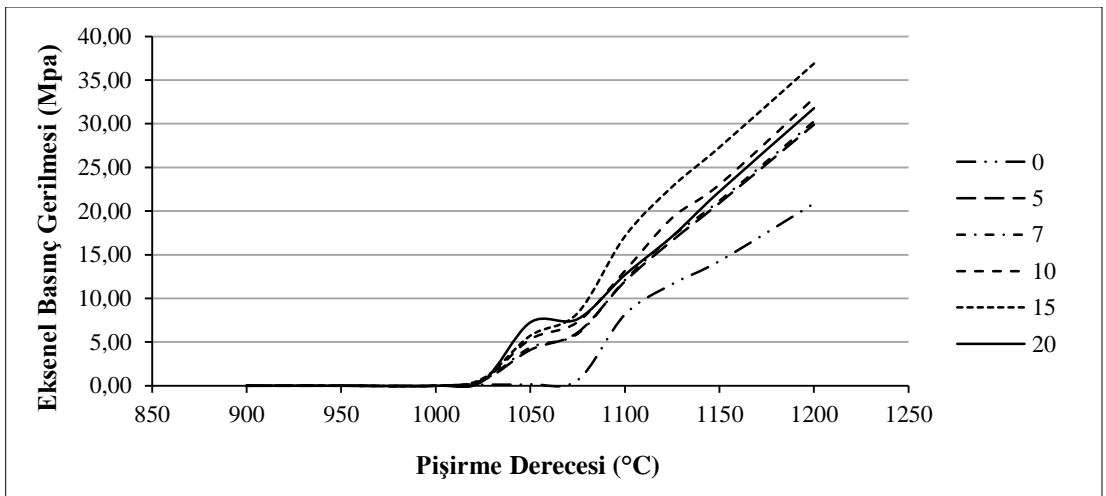
Şekil 5.4. % 10 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



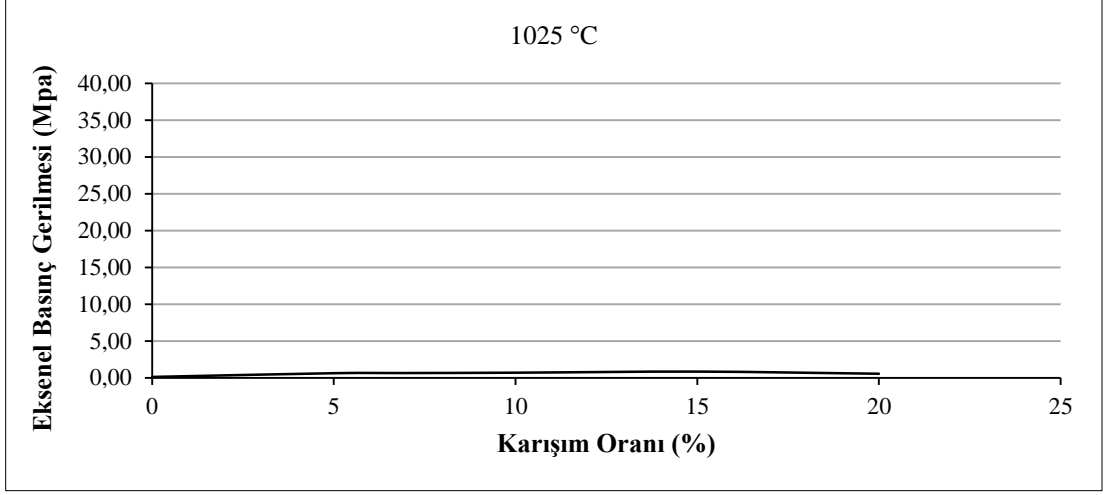
Şekil 5.5. % 15 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



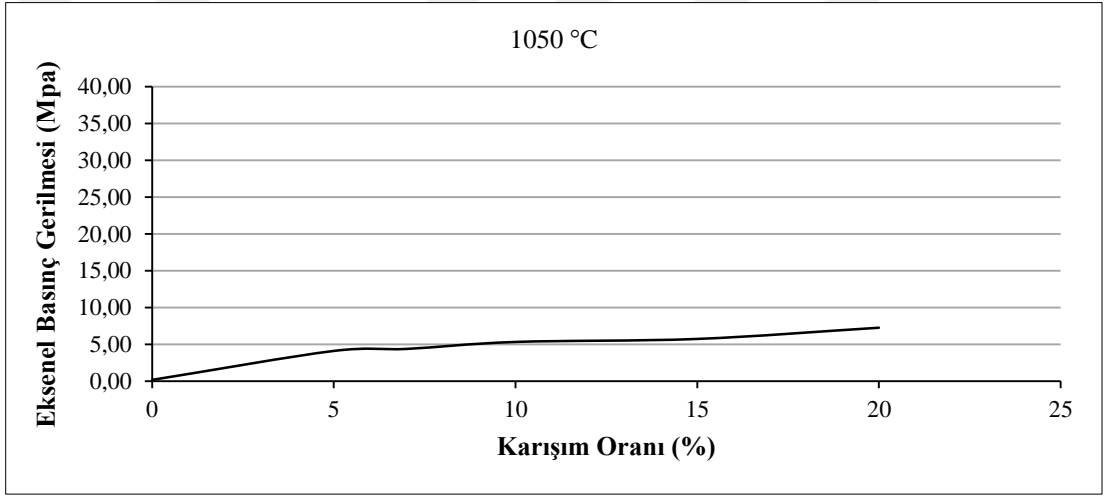
Şekil 5.6. % 20 alçı karışım oranında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



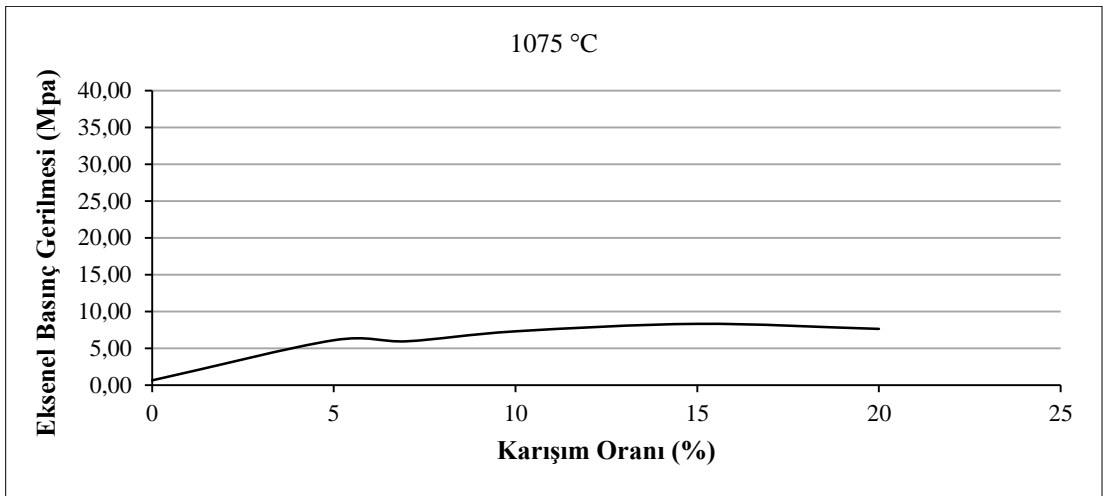
Şekil 5.7. Bütün karışım oranlarında pişirme derecesine göre basınç gerilmesi



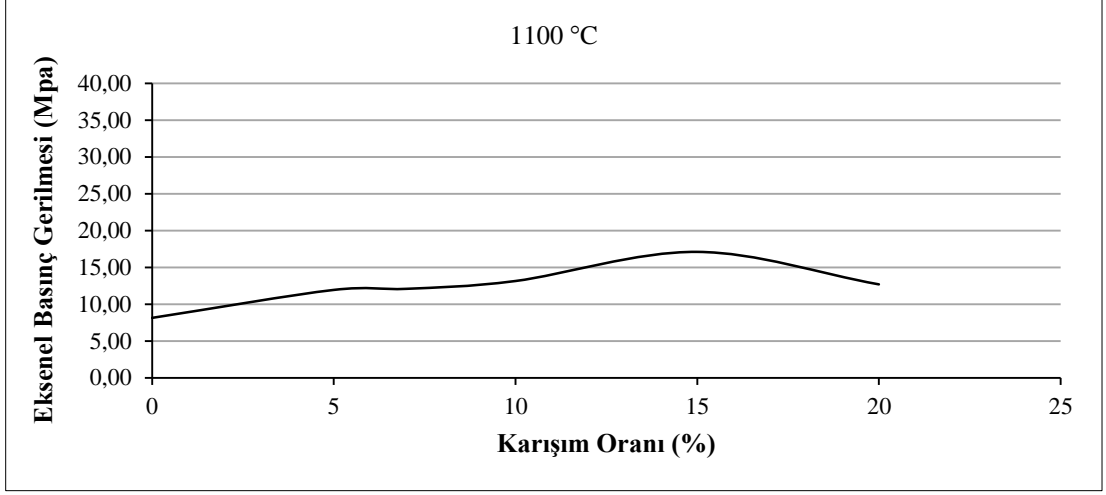
Şekil 5.8. 1025 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



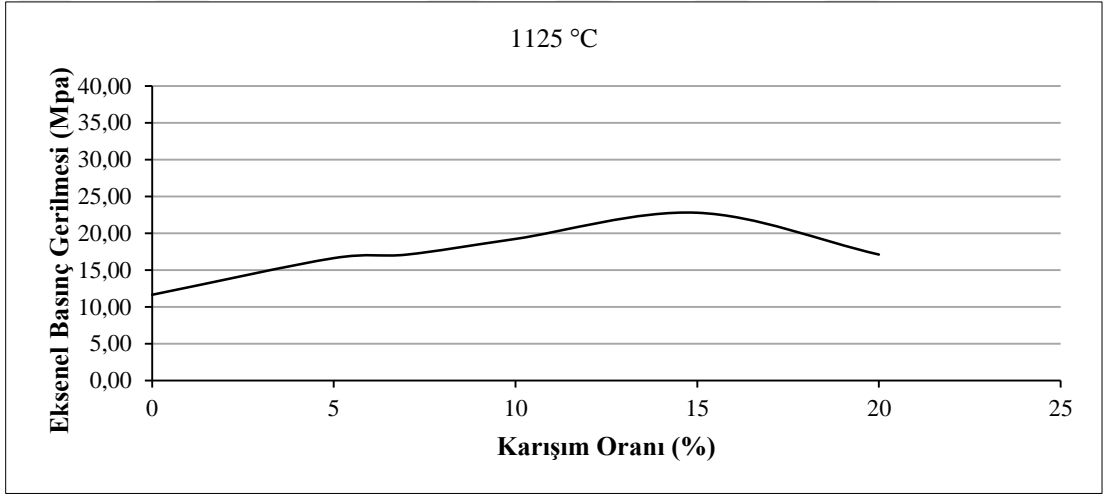
Şekil 5.9. 1050 °C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



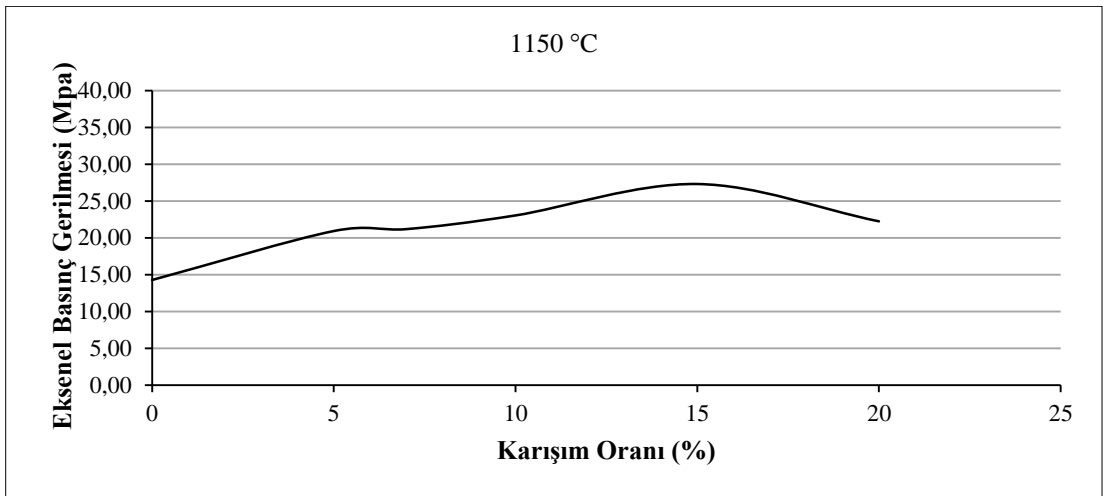
Şekil 5.10. 1075°C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



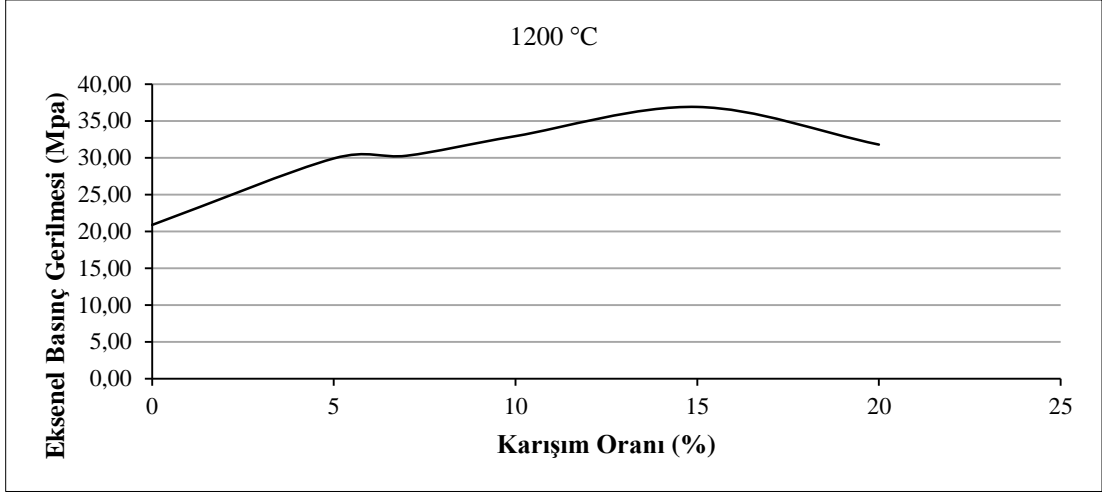
Şekil 5.11. 1100°C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



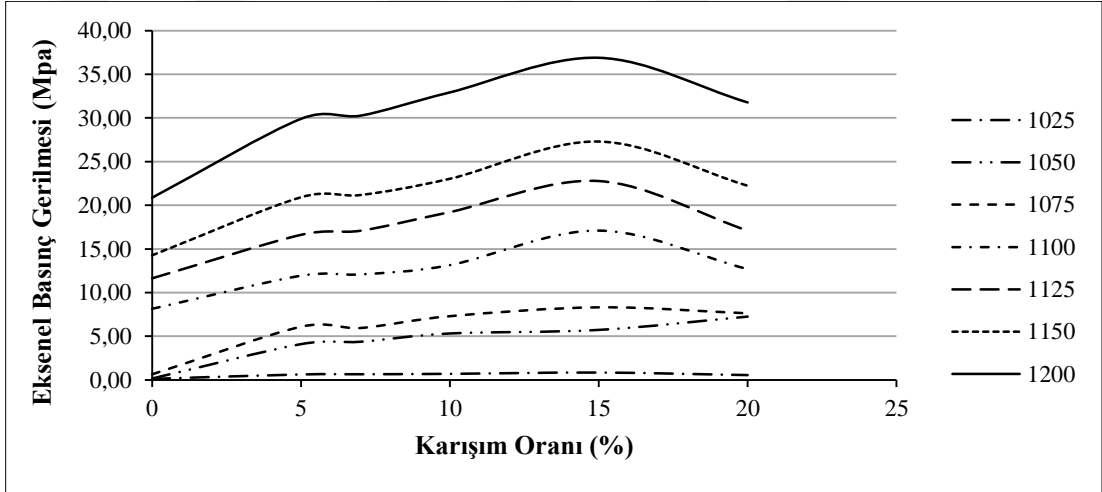
Şekil 5.12. 1125°C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



Şekil 5.13. 1150°C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



Şekil 5.14. 1200°C’de pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmesi



Şekil 5.15. Bütün sıcaklıklarda pişirilen farklı alçı karışım oranlı numunelerin basınç gerilmeleri

Grafiklerde (özellikle Şekil 5.15) en yüksek basınç gerilme değeri her bir pişirme derecelerinde % 15 alçı katkılı numunelerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda pişme derecelerinde sıcaklık artışı ile her bir alçı karışım % değerlerinde basınç mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Ancak 1125 °C’de pişirilen numunelerde ihmal edilecek kadar şekilsel deformasyonların başladığı görülmüştür. 1200°C’lerde pişirilen numunelerde ise yüksek basınç değerleri elde edilmesine rağmen, boyutlarında % 15’e varan oranlarda büzülme şeklinde şekilsel deformasyonlar görülmüştür. Bu numunelerde şekilsel deformasyonlar haricinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Aynı zamanda hiç deformasyonun gözlenmediği 1100°C pişme

sıcaklığındaki numunelere göre; 1125 °C’de % 28, 1150 °C’de % 29 ve 1200 °C’de pişen numunelerin basınç gerilmesinde %110 artış göstermiştir. Önemli miktarlarda basınç artışlarının gözlenmesine rağmen hiç deformasyonun olmadığı numunelerin optimum karışım değeri olduğuna karar verilmiştir. Bu sebeple yeter miktarda basınç gerilmelerine sahip numunelerin 1100°C pişme derecesinde üretilebileceğine karar verilmiştir.

5.1.2 Birim hacim ağırlığı

Piştirilen numuneler hava kurusu durumuna getirildikten sonra numunelerin birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesinde TS 699 standardı esas alınmıştır. Çalışmada bütün numunelerin birim hacim ağırlığının aritmetik ortalaması alınarak o gruba ait birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların her bir gruba ait değerleri Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Birim hacim ağırlığı hesaplanmasında ise aşağıdaki 5.2 eşitliğinden yararlanılmıştır.

$$\gamma_k = \frac{G_k}{V_k} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (5.2)$$

Bağıntıda;

γ_k : Numune birim hacim ağırlığı (g/cm^3)

G_k : Numune hava kurusu ağırlığı

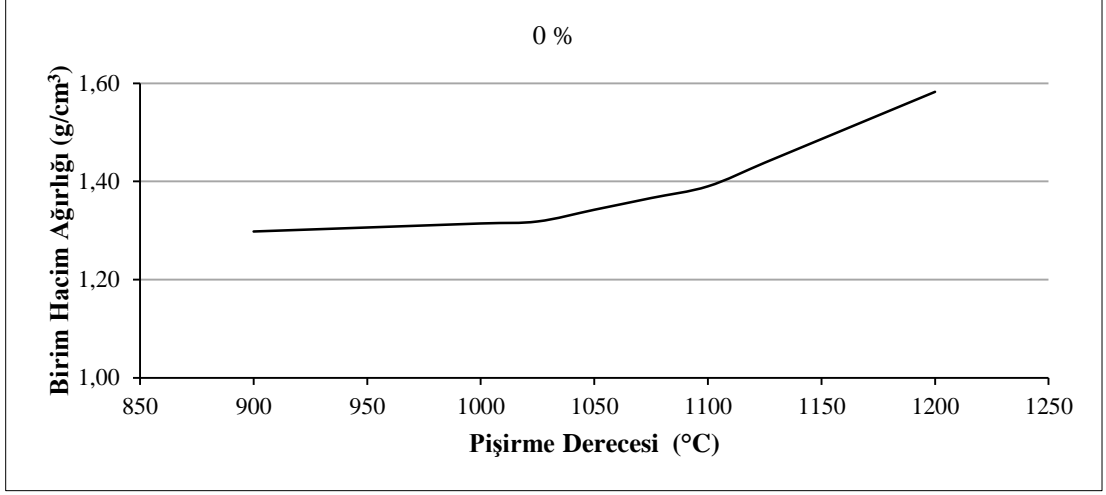
V_k : Numunelerin brüt hacmini (uzunluk, genişlik ve yükseklik çarpımı) ifade etmektedir.

Birim hacim kütlesi belirlenmeden önce taş kesme makinesinde kesilen numunelerin yüzeyleri sert plastik bir fırça ile yıkanarak temizlenmiştir. Değişmez ortam şartlarında değişmez kütleye geldikten sonra 0,1mm hassasiyetindeki kumpas ile ölçülerek ebatları belirlenmiştir. Hava kurusu durumundaki deney numunesinin kütlesi ise 0,5g hassasiyetindeki terazide tartılarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar yüzde bir hanesinde yuvarlatılmıştır.

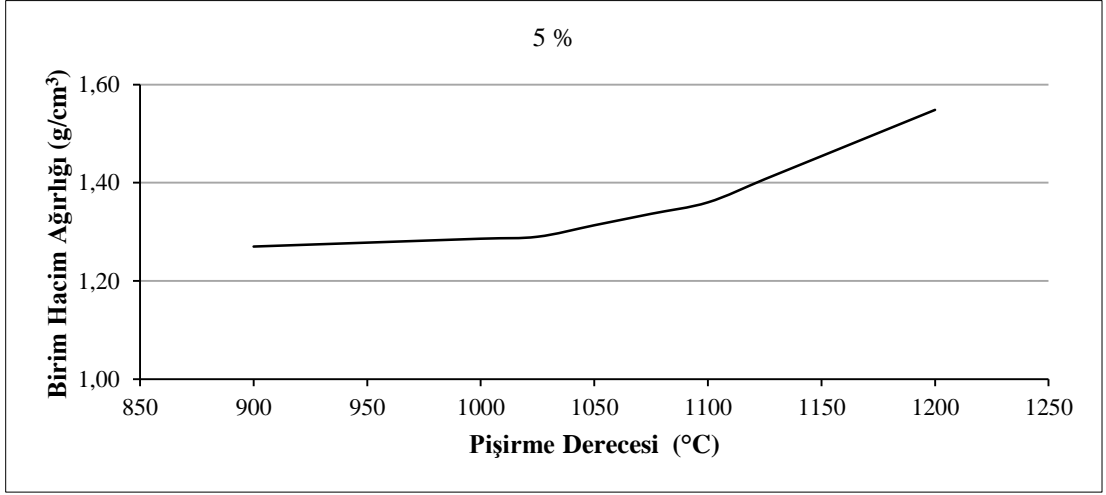
Çizelge 5.2. Birim hacim ağırlığı

Numune grubu Pişirme sıcaklığı °C	Numune grupları birim hacim ağırlığı ($\gamma_k = \text{g/cm}^3$)					
	N ₀	N ₅	N ₇	N ₁₀	N ₁₅	N ₂₀
N ₉₀₀₋₁	1,30	1,27	1,26	1,24	1,21	1,19
N ₉₅₀₋₂	1,31	1,28	1,27	1,25	1,22	1,19
N ₁₀₀₀₋₃	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,20
N ₁₀₂₅₋₄	1,32	1,29	1,28	1,26	1,23	1,20
N ₁₀₅₀₋₅	1,34	1,31	1,30	1,28	1,26	1,23
N ₁₀₇₅₋₆	1,37	1,34	1,32	1,31	1,28	1,25
N ₁₁₀₀₋₇	1,39	1,36	1,35	1,33	1,30	1,27
N ₁₁₂₅₋₈	1,44	1,41	1,39	1,38	1,35	1,31
N ₁₁₅₀₋₉	1,49	1,45	1,44	1,42	1,39	1,36
N ₁₂₀₀₋₁₀	1,58	1,55	1,53	1,51	1,48	1,45

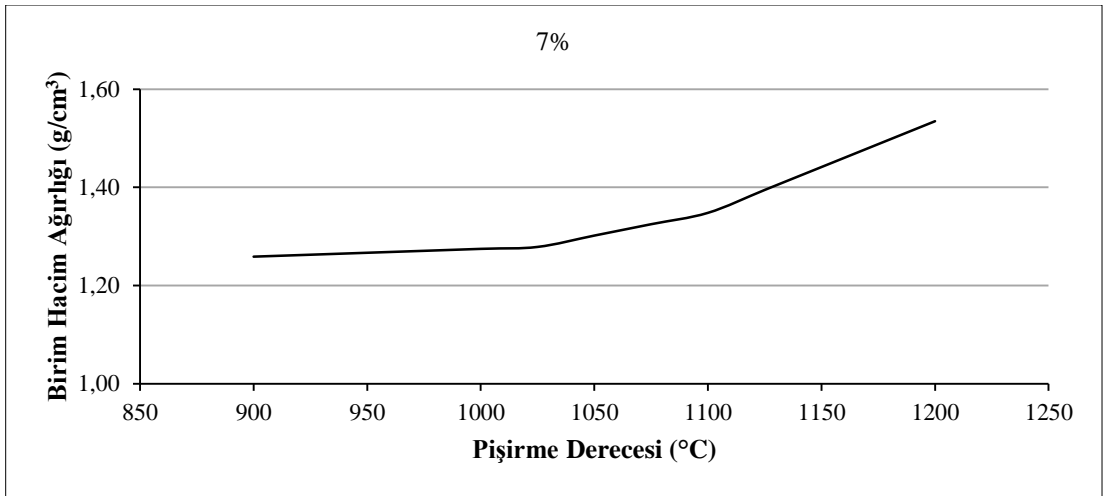
Çizelge 5.2’de görüleceği gibi, farklı alçı karışım oranına ve pişirme derecelerine göre gruplandırılan numunelerin sinterlenme dereceleri arttıkça birim hacim ağırlıklarının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni 1125 °C’den sonraki sıcaklıklarda sinterlenen numunelerde hammaddenin ergime sıcaklığına yaklaşıldığı için sıcaklıktan dolayı boyutlarında küçülmeler olmuş ve özgül ağırlık artışı gözlenmiştir. Ancak, birim hacim ağırlık artışı 1100 °C’den sonra daha da belirginleştiği için eksenel basınç gerilme değeri, numune deformasyonları ve enerji girdileri dikkate alınarak 1100 °C’deki birim hacim ağırlıklarının uygun olduğuna karar verilmiştir. Bunun yanında numunelerin birim hacim ağırlığı arttıkça, basınç dayanım değerlerinde de artış gözlenmiş olmasına rağmen tercih edilmesinde şekilsel deformasyonların başladığı değerler etken parametre olarak öne çıkartılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen numunelerin Çizelge 5.2’de bulunan birim hacim ağırlık değerlerinin pişirme sıcaklığına göre etkileşimi Şekil 5.16-5.22’de, alçı katkı oranlarına göre etkileşimleri ise Şekil 5.23-5.33’te görsel hale getirilmiştir.



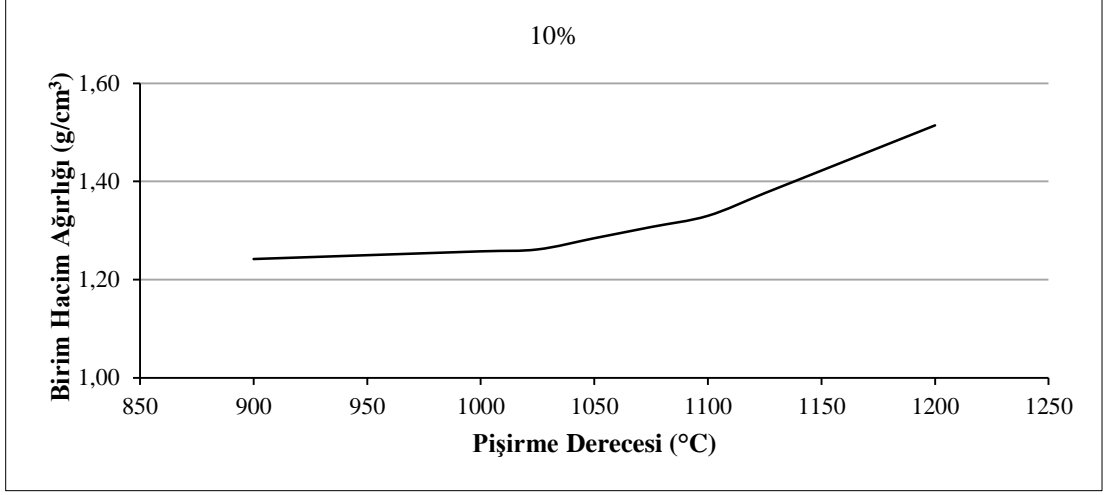
Şekil 5.16. % 0 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



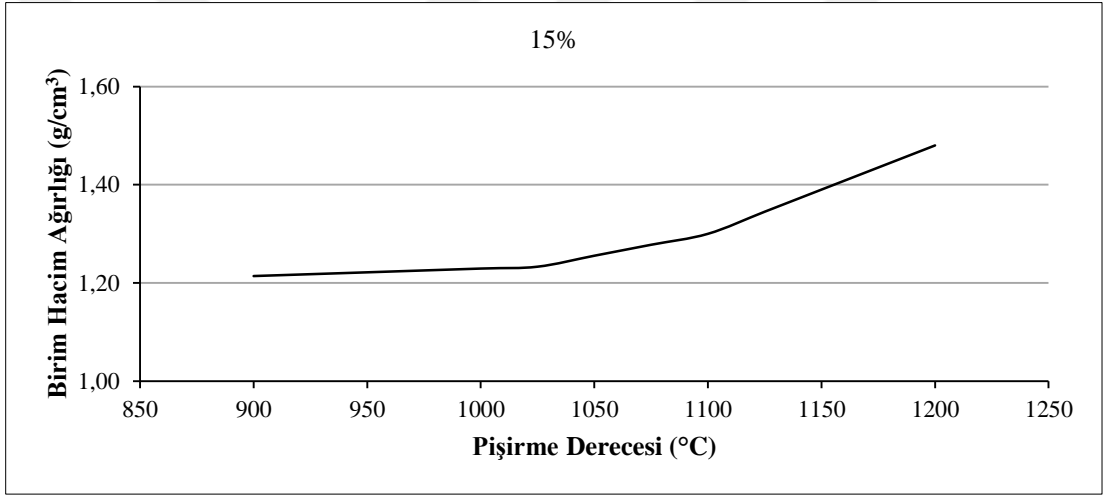
Şekil 5.17. % 5 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



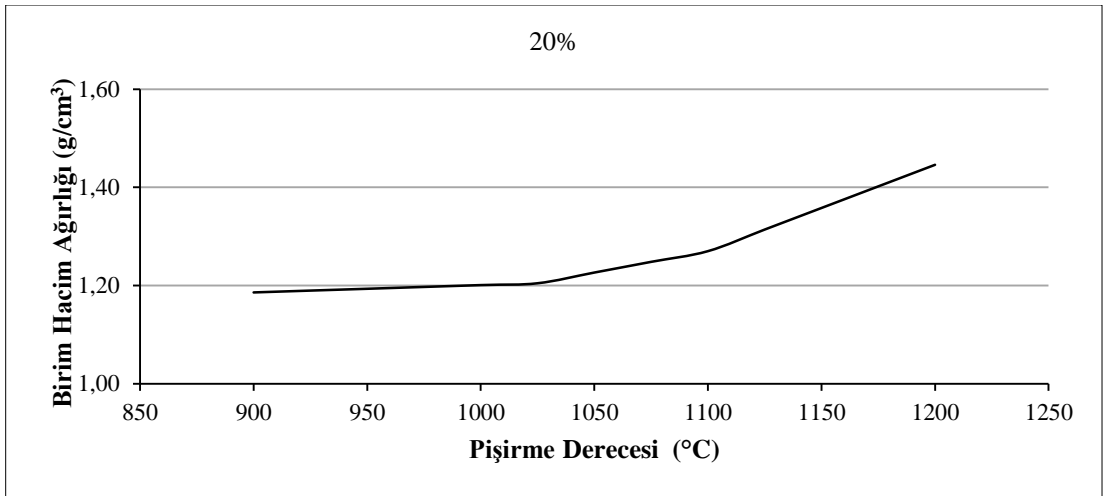
Şekil 5.18. % 7 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



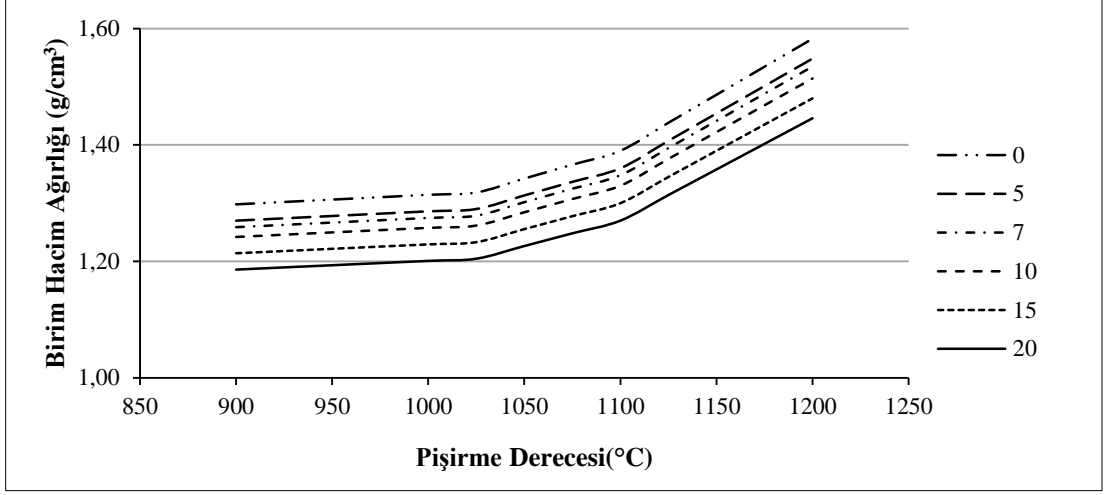
Şekil 5.19. % 10 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



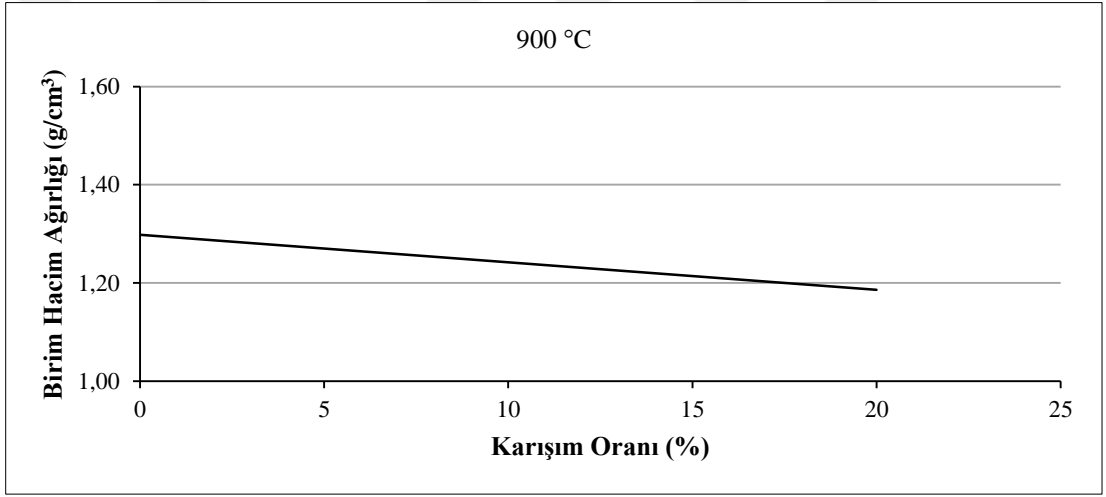
Şekil 5.20. % 15 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



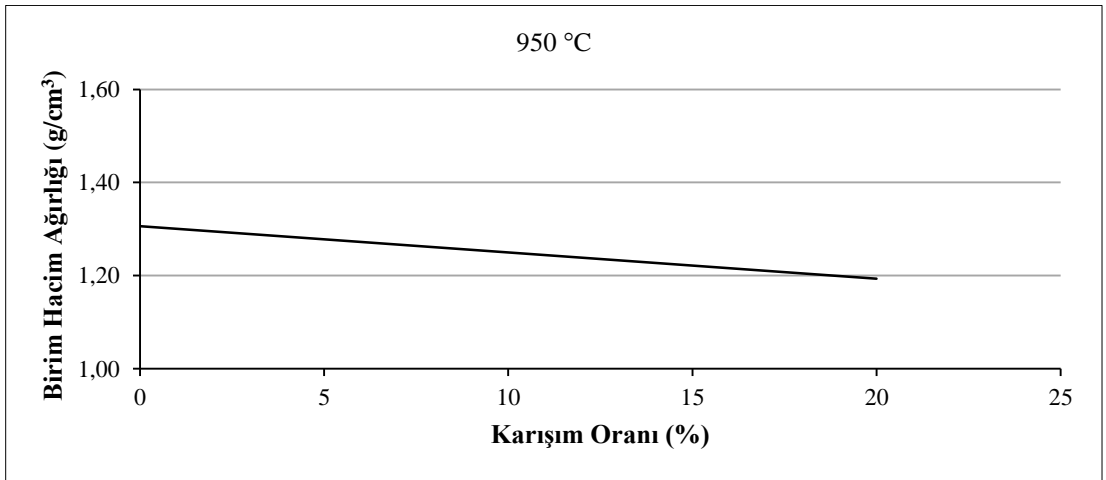
Şekil 5.21. %20 karışım oranında piştirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



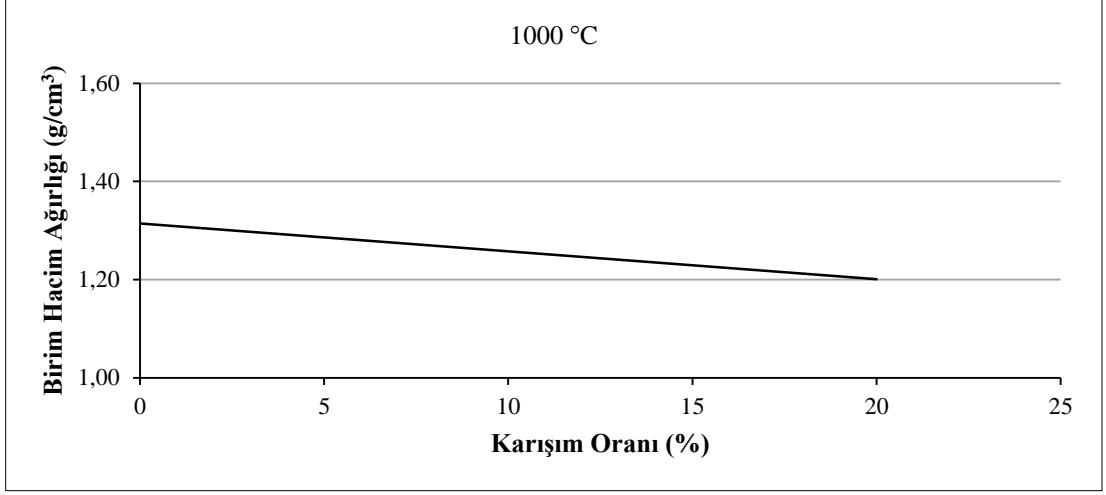
Şekil 5.22. Bütün karışım oranlarında pişirme derecesine göre birim hacim ağırlığı



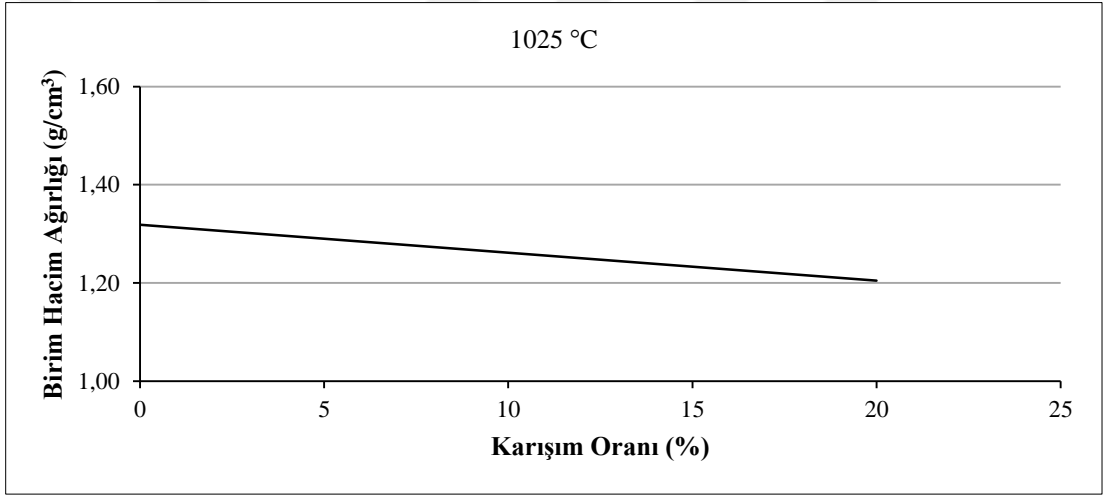
Şekil 5.23. 900°C'de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



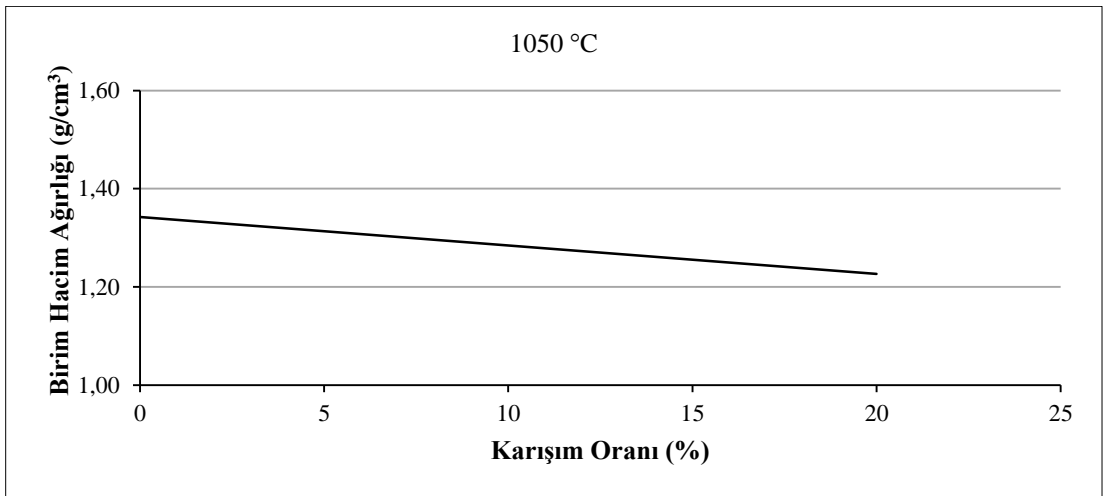
Şekil 5.24. 950°C'de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



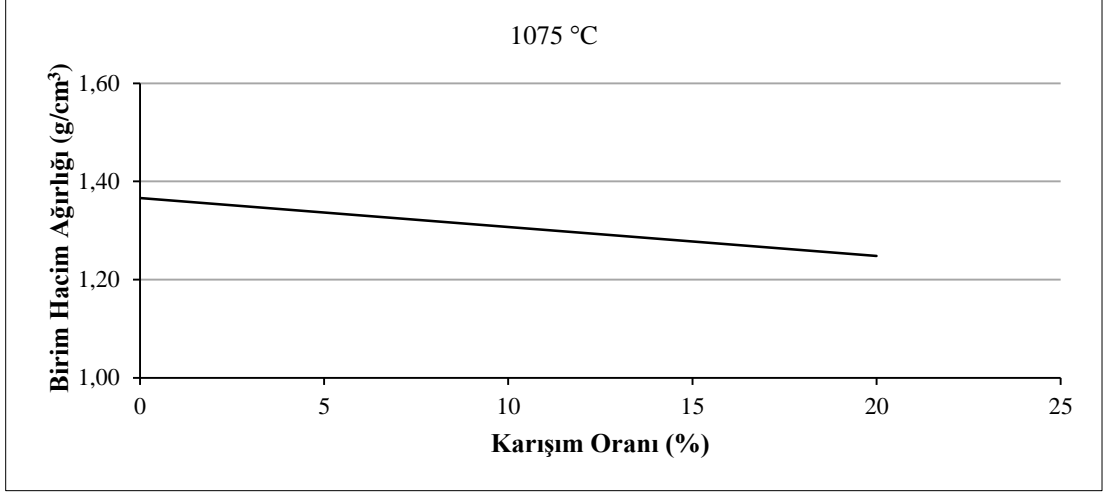
Şekil 5.25. 1000°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



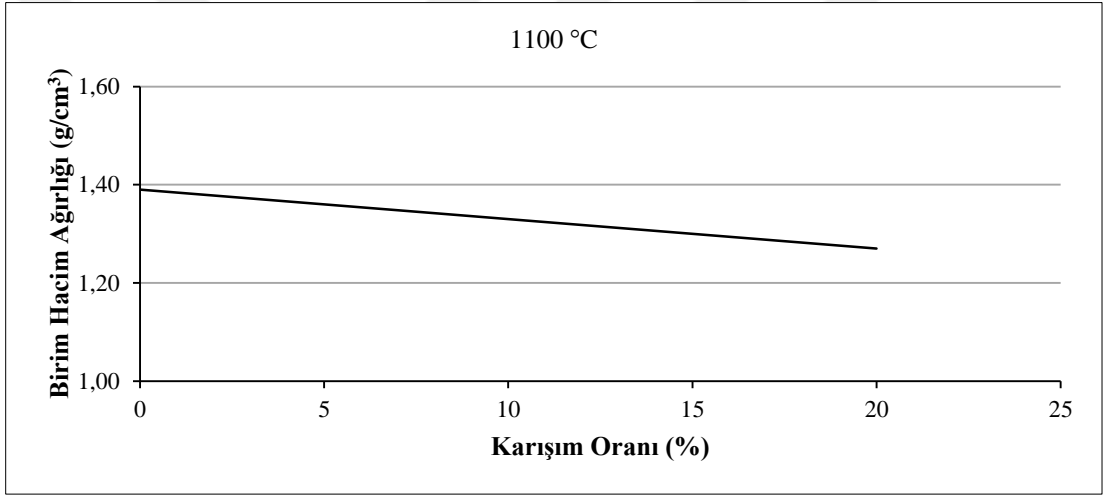
Şekil 5.26. 1025°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



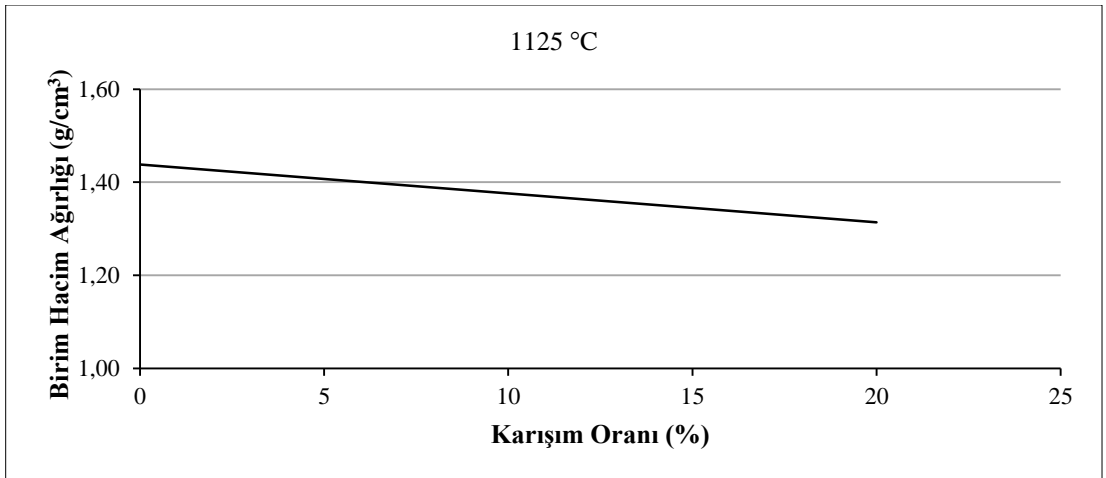
Şekil 5.27. 1050°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



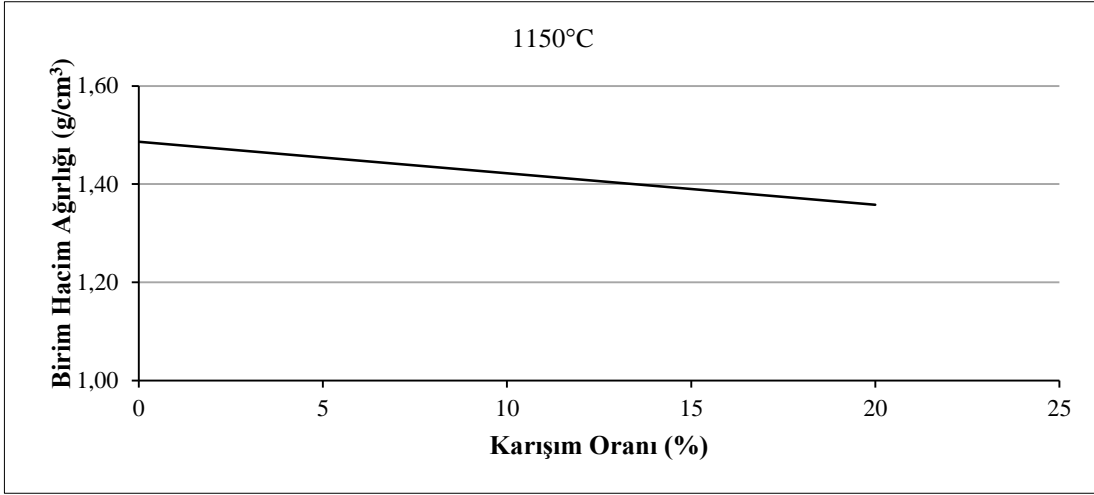
Şekil 5.28. 1075°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



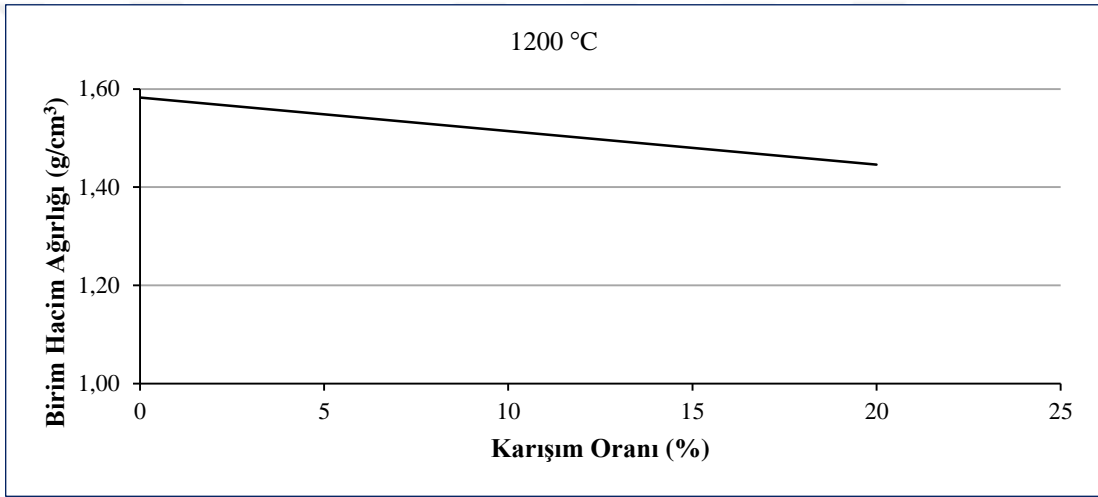
Şekil 5.29. 1100°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



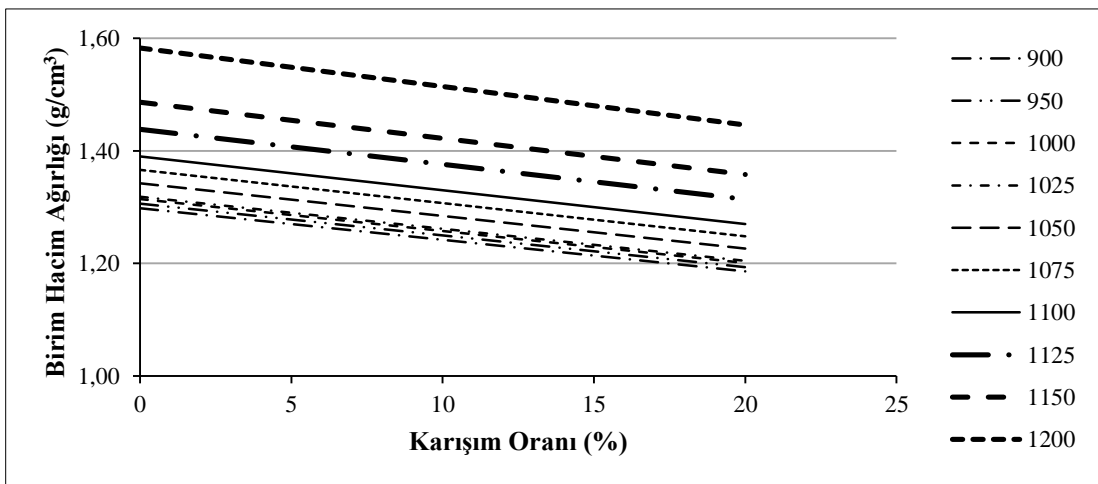
Şekil 5.30. 1125°C’de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



Şekil 5.31. 1150°C'de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



Şekil 5.32. 1200°C'de farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı



Şekil 5.33. Bütün °C'lerde farklı alçı karışım oranlı numunelerin birim hacim ağırlığı

Piştirme sıcaklığına göre malzemenin birim hacim ağırlıklarındaki etkileşim Şekil 5.22’de toplu olarak verilmiştir. Şekilden de gözleendiği gibi 1025 °C’de piştirme sıcaklığına kadar fazla bir değişim göstermemesine rağmen 1025 °C’den sonra görünür bir şekilde 1100 °C’ye kadar bir artış gözlenmiştir. 1100°C’den sonra pişen numunelerden sonraki numunelerin bütün karışımlarında ise birim hacim ağırlıklarında hızla bir yükseliş sergilemektedir. Bunun nedeni numune hammaddesinin ergime sıcaklığına yaklaşmasından dolayı doğal olarak oluşan boşlukların kapanması ile hacimsel büzölmelerin görölmeye başlamasıdır.

Aynı zamanda numune içerisindeki % alçı karışım oranlarına göre birim hacim ağırlıklarının değişimi Şekil 5.33’de toplu olarak verilmiş olup numunelerin birim hacim ağırlıkları, % alçı katkı oranının artması ile düştüğü görölmektedir. Bunun nedeni; alçı yapısal kimyasal özelliğinden dolayı su ile reaksiyona girmesi neticesinde bünyesel boşluklar oluşturarak yüksek poroziteli ürün haline dönüşmektedir. Numune üretiminde alçı % oranının artması ile taş unu ile karışımda da bünyesel özelliğini büyük oranda koruyabilmektedir. Ayrıca sıcaklık derecelerinde taş ununda bulunan silis ile reaksiyon göstererek kalsiyum silikat kimyasal bileşik oluşturması ve yapısında bulunan suyun tamamen ortamdan uzaklaşması olarak yorumlanabilir.

5.2 İkinci Aşama Deneysel Bulgular

Bu deneysel çalışmanın birinci aşamasında, Çizelge 5.2’de karışım oranlarına ve piştirme derecelerine göre gruplandırılan numunelerin aksenal basınçları ile birim hacim ağırlıkları hesaplanarak, BHA düşük ve en büyük aksenal basınç gerilmelerine sahip, ayrıca şekilsel deformasyon göstermeyen numuneler optimum tasarım olarak belirlenmiştir. Buna göre % 15 alçı karışımlı ve 1100°C pişme derecesinde üretilen numune, optimum numune olarak seçilmiştir. Bu aşamada, numune gruplarının fazlalığından dolayı diğer fiziksel özellikleri ise belirlenmemiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında; birinci aşamada optimum tasarım olarak kabul edilen numunenin parametrelerine göre dizayn edilen ürünlerde numune karıştırma, şekillendirme, kurutma ve piştirme birinci aşamada olduğu gibi tekrar edilmiştir. Bu aşamada üretilen numunelerin sabit sıcaklıktaki piştirme süreleri değiştirilmiştir. Piştirme sürelerindeki değişimin ürünün bütün fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi

incelenmiştir. Seçilen optimum numunenin Çizelge 4.1’de verilmiş olan karışım parametrelerine göre (1 numune için: 1250 g taş unu, 187,5 g alçı ve 590 g su) üretilmiştir. Numuneler altı farklı gruba ayrılarak pişirme işlemine geçilmiş ve grupların pişirme süreleri 1-15-30-60-90 ve 120 dakika olarak seçilmiş ve her bir grup tek seferde pişirilmiştir. % 15 alçı karışımlı 100x100x100 mm küp numunelerin 1100°C pişme sıcaklığında 1-15-30-60-90 ve 120 dakika pişirme sürelerine göre gruplandırılan numunelerin sayıları Çizelge 5.3’de verilmiştir. Çizelgede bulunan numunelerin notasyonları ise N; 1100 °C pişme sıcaklığındaki numuneyi, alt indis, dakika olarak sabit pişme sıcaklığı süresini ifade etmektedir.

Çizelge 5.3. Pişirme sürelerine göre numune sayıları

Numune	Numune sayıları ve pişirme süreleri (dak)					
	N ₁	N ₁₅	N ₃₀	N ₆₀	N ₉₀	N ₁₂₀
	9	9	9	9	9	9
Yedek	6	6	6	6	6	6
Toplam	15	15	15	15	15	15

Bu numunelerin; birim hacim ağırlık, eksenel basınç dayanımı, aşınma dayanımı ısı iletim katsayısı (aşınma dayanımı ve ısı iletim katsayısının tespiti için özel numuneler üretilmiştir), özgül ağırlık, su emme, kompasite, porozite, dona dayanıklılık, gibi standart özellikleri incelenmiştir. Bu standart deneyler yapılırken aşağıda açıklanan şekil, bağıntı ve standartlar kullanılmıştır. Ancak deneylere başlamadan önce TS 699 da belirtildiği şekilde numune boyutları taş kesme makinesinde kesilerek 70x70x70 mm boyutlarında küp şekline getirilmiştir.

5.2.1 Birim hacim ağırlık

Bu aşamada da üretilen numuneler üzerinde birinci aşamada anlatıldığı şekilde hesaplamalar yapılmış ve her bir grup numunelerden elde edilen grup değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 5.4’de verilmiştir.

5.2.2 Eksenel basınç gerilmesi

Üretilen numuneler üzerinde bölüm 5.1.1’de anlatıldığı şekilde eksenel basınç gerilme değerleri ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Her bir grup için üç numune kullanılmış ve numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Çizelge 5.4’de verilmiştir.

5.2.3 Özgül ağırlık

Numunelerin özgül ağırlığı, Erciyes Üniversitesi Kayseri Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuvarında ölçülmüştür. Ölçüm işleminde Fotoğraf 5.3’de görülen piknometre cihazı kullanılmış ve deneyde, TS 699 ve TS EN1936 numaralı standart esas alınmıştır.

Bu deney için numune değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Oda sıcaklığındaki su ile tamamen doldurulan piknometre, kapağı kapatıldıktan ve üzerindeki su damlaları kuru bir bezle alındıktan sonra 0,01 g hassasiyetle tartılmıştır. Piknometre içindeki su tamamen boşaltıldıktan ve etüvde kurutulup soğutulduktan sonra tekrar tartılarak piknometre (kapağı ile birlikte) kütlesi bulunmuştur. Etüv kurusu durumuna getirilmiş ve soğutulmuş olan numune piknometre içine konmuş ve kapağı ile birlikte 0,01 g hassasiyetle tartılmıştır. İçinde deney numunesi bulunan piknometre, hacminin 1/4’üne kadar su ile doldurularak içerisinde hava kabarcıklarının kalmaması için yaklaşık 10-15 dakika müddetle kaynatılabilir. Ancak bu deneyde numune içerisinde hava kabarcıklarının kalmaması için kaynatma yerine, vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompası kullanıldığı için vakum pompası ile hava alma işleminde, piknometre sık sık çalkalanarak hava çıkışları kolaylaştırılmıştır ve işleme hava kabarcıkları çıkmayınca kadar devam edilmiştir. Hava kabarcıklarının tamamen çıktığından emin olduktan sonra 0,01 g hassasiyetle tartılmıştır.

Çalışmada, pişirme derece sıcaklıklarına göre Çizelge 5.3’de belirtildiği gibi oluşturulan her grup numunenin özgül ağırlıkları ölçüldükten sonra, (5.3) eşitliği yardımıyla numunenin özgül ağırlığı tespit edilmiş, sonuçlar Çizelge 5.4’de verilmiştir.

$$\gamma_s = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_s)} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (5.3)$$

Bağıntıda;

γ_s : Numune özgül ağırlığı,

G_p : Piknometre kütlesi,

G_{pn} : Kuru numune + piknometre kütlesi,

G_{pns} : Numune + su+ piknometre kütlesi,

G_s : Su emdirilmiş numune + su + piknometre kütlesi, ifade edilmektedir.



Fotoğraf 5.3. Piknometre deney seti

Deney her bir grup numunelerin üç adeti üzerinde tekrar edilmiştir. Üç deneyde de birbirleri arasındaki fark, 0,04'ü geçmeyen miktarda yakın sonuçlar elde edildiği için üç deneyin de sonuçları doğru kabul edilmiştir. Her bir grup için üç deneyin aritmetik ortalaması alınarak numunesinin özgül ağırlığı değerleri Çizelge 5.4'de verilmiştir.

5.2.4 Aşınma dayanımı

Bu deneyde, TS EN 14157 standardına, TS 699 göre düşey aşınma yöntemi uygulanmıştır. Deney orijinal ölçülerdeki mamule veya üst yüzü de ihtiva edecek

şekilde ve yüzey ölçüleri, en az (100x70)mm ve kalınlığı, en az (60 ± 10) mm olan kesilmiş parçaya uygulanmıştır. Deney numuneleri temiz ve etüv kurusu haline getirilmiştir. Deney numunesinin, işlem uygulanacak üst yüzeyi birbirine dik iki doğrultuda, 100 mm mesafede ölçülen tolerans, ± 1 mm olacak şekilde düz konuma getirilmiştir.

Deney numunesi yüzeyinin pürüzlü olması veya yüzeyin düzlemden sapmasının yukarıda verilen toleransları aşması hâlinde, yüzey hafifçe aşındırılarak, verilen toleranslar sağlanacak şekilde düzeltilmiştir. Deneyden hemen önce, işlem uygulanacak numune yüzeyi, sert fırça ile temizlenmiş ve aşınmayla oluşan oyuk uzunluğunun daha hassas ölçülebilmesini sağlamak üzere, uygun bir boya ile (kalıcı işaretleme kalem) boyanmıştır.

Aşındırma tozu silosu, rutubeti en fazla % 1 olan kuru aşındırma tozu ile doldurulmuştur. Deney numunesi Fotoğraf 5.4 ve 5.5’de görüldüğü gibi yüzeyi geniş aşındırma diskine temas edecek şekilde yaklaştırılmıştır. Aşınma tozu kontrol vanası açılır ve aynı anda motor, geniş aşındırma diski, (60±3) saniye sürede 75 dönüş yapacak şekilde çalıştırılmıştır. Aşındırma malzemesi akış debisinin deney süresince değişip değişmediği gözle kontrol edilmiştir. Diskin 75 dönüş yapmasından sonra, aşındırma tozu akışı ve disk durdurulmuştur. Her bir numunede iki deney yapılmıştır.

Numune, anma büyütmesi en az 2x olan büyük boyutlu büyüteç altına konulmuş ve oyuk boyutlarının daha kolay ölçülebilmesini sağlamak üzere ışıklandırma donanımı bulundurulmuştur. Oyuğun her iki uzun kenarının (I_1 ve I_2) sınırları, uç kalınlığı 0,5 mm ve sertliği 6H veya 7H olan kurşun kalemle, cetvel kullanılarak çizilmiştir.

Daha sonra, oyuk uzun kenarlarının orta noktaları birleştirilerek, boyuna eksene dik doğrultuda (AB) doğrusu çizilmiştir. Sayısal göstergeli kumpasın ölçme uçları, uzun kenar (I_1 ve I_2) sınırlarının iç kısmına A ve B noktalarına, oyuk içine doğru yerleştirilmiş ve boyut ± 0,1 mm yaklaşımla ölçülerek kaydedilmiştir.

Ölçme işlemleri, kalibrasyon amacıyla, oyuk uçlarından (C D), (10 ± 1) mm mesafedeki noktalarda tekrarlanmıştır. Bu şekilde üç ölçme sonucu elde edilmiş Çizelge 5.4’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.4. Aşınma deneyi numuneleri



Fotoğraf 5.5. Dikey aşınma deney ekipmanı

5.2.5 Su emme

Numunelerin su emme yüzdesi, TS 699 standardı esas alınarak tespit edilmiştir. Numuneler etüv kurusu durumuna getirilip tartılarak G_k ağırlığı bulunmuştur. Daha sonra içerisinde 20 ± 5 °C su bulunan uygun yükseklikte ve derinlikte bir kap içerisine, numunelerin bütün yüzlerinin su ile temas etmesi sağlanarak 24 saat bekletilmiştir. Numuneler sudan çıkarılmış ve ıslatılıp sıkılmış bir bez ile üzerlerindeki su artıkları temizlenmiş ve beklemeden 0,1gram hassasiyetle tartılmıştır Aynı işlem tekrar edilmiş sabit ağırlığı bulunmuştur (G_d) Sonra suya doymun numuneler Archimedes terazisinde 0,1 gram hassasiyetle tartılmış ve su içindeki kütleleri bulunmuştur

Ağırlıkça su emme yüzdesi (S_k), aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunmuştur.

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} 100 (\%) \quad (5.4 a)$$

Hacimce su emme yüzdesi (S_h) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} 100 (\%) \quad (5.4 b)$$

S_k : Ağırlıkça su emme yüzdesi (%),

S_h : Hacimce su emme yüzdesi (%),

G_d : Su emdirilmiş numune kütlesi,

G_{ds} : Archimedes terazisi ile numune kütlesi,

G_k : Etüv kurusu numune kütlesi, ifade edilmektedir.



Fotoğraf 5.6. Su emme seti

5.2.6 Görünür porozite

Bir malzemenin hacimce su emme oranı aynı zamanda o malzemenin görünür porozitesi olup aşağıdaki bağlantı yardımıyla hesaplanmış Çizelge 5.4’de verilmiştir.

5.2.7 Porozite

Porozite, malzemedeki boşluk oranıdır. Numune porozite değeri, birim hacim ağırlığı (γ_k) ve özgül ağırlığından (γ_s) yararlanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmış, Çizelge 5.4’de verilmiştir.

$$Pr = 1 - \frac{\gamma_k}{\gamma_s} 100 \quad (\%) \quad (5.5)$$

Burada;

γ_k : Numune birim hacim ağırlığı (g/cm^3),

γ_s : Numune özgül ağırlığı (g/cm^3),

P_r : Porozite (%).

5.2.8 Komposite

Komposite, bir malzemenin doluluk oranıdır. Numunelerin komposite değeri, birim hacim ağırlığı (γ_k) ve özgül ağırlığından (γ_s) yararlanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmuş, Çizelge 5.4’de verilmiştir.

$$k = \frac{\gamma_k}{\gamma_s} 100 \quad (\%) \quad (5.6)$$

Burada;

γ_k : Numune birim hacim ağırlığı (g/cm^3),

γ_s : Numune özgül ağırlığı (g/cm^3),

k : Komposite (%),

5.2.9 Isı iletkenliği

Malzemenin ısı iletim katsayısını belirlemek için yeni bir numune dökülmüştür. % 15 alçı oranlı örneğe ait karışım oranları ile $300 \times 300 \times 60$ mm boyutlarında dökülmüş ve 1100°C pişirme sıcaklığında 60 dakika pişirilmiştir. Numune boyutu büyümesine rağmen gözle yapılan kontrollerde numune üzerinde herhangi bir çatlama ve şekilsel

deformasyonlar görülmemiştir. Üretilen örneğin ısı iletim katsayısı, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Fotoğraf 5.7’de verilen ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen değer Çizelge 5.4’de verilmiştir.



Fotoğraf 5.7. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı

5.2.10 Dona dayanıklılık

Numuneler TS 699 numaralı standartta belirtildiği şekilde, Deney numuneleri, sabit kütleyle gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Numuneler etüvden çıkarılıp uygun bir kaba konularak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 g yaklaşımla tartılmıştır. Bu şekilde kurutulmuş olan deney numuneleri TS EN 13755 Madde 7’de tarif edildiği şekilde suya doymun hale getirilmiş ve Fotoğraf 5.8’de görüldüğü gibi dondurucuya konmuştur. Soğutma hızı, dondurucunun sıcaklığı yaklaşık 4 saatte -20°C ’ye kadar düşecek şekilde ayarlanmıştır. Sıcaklık -20°C ’ye düştükten sonra numuneler yaklaşık 2saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Numuneler bu süre sonunda dondurucudan çıkarılarak $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde tamamen su altında kalacak şekilde daldırılmış ve en az 2 saat bu şekilde bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından numuneler tekrar dondurucuya konmuş ve -20°C ’ye kadar soğutulmuştur. Bu şekilde donma ve çözülme işlemi 25 kez tekrarlanarak her defasında deney numunesinde meydana gelen gözle görülür değişiklikler kaydedilmiştir. Donma ve çözülme işlemlerinin sonunda deney numuneleri $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde sabit kütleyle kadar kurutulup desikatörde soğutulduktan sonra 0,1 g yaklaşımla tartılmıştır.

Bu aşamada numunelerin üzerinde gözle görülür çatlama ve kütle kayıpları görülmemiştir. Sadece yüzeylerde el ile tozuyan bir tabaka oluşmuştur. Don sonu basınç dayanımı deneyinde don etkileri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don sonu kütle kaybı) % 1'in altında kaldığı için hesaplamaya gerek duyulmamıştır.

Donma çözülme işlemlerine tabi tutulmuş bu deney numuneleri üzerinde daha önce tarif edildiği şekliyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılır. Numunelerin basınç dayanımında doğal don etkileriyle meydana gelen azalma aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta f = \frac{f_b - f_{db}}{f_b} 100 (\%) \quad (5.7)$$

Burada;

Δf : Numunelerin basınç dayanımında meydana gelen azalma, %

f_b : Numunelerin basınç dayanımı aritmetik ortalaması (donma çözülme işlemine tabi tutulmamış numunelere ait), MPa

f_{db} : Numunelerin don sonu basınç dayanımı aritmetik ortalaması, MPa

Taşın don sonu basınç dayanımı kaybı, en az altı deney numunesinden elde edilen değerlerin ortalamasının alınıp, elde edilen bu ortalama değer virgülden sonra bir haneye yuvarlatılması suretiyle gösterilmiştir. Don deneyi sonucu basınç dayanımı kaybı hesaplanarak rapor edilmiş ve Çizelge 5.4'de verilmiştir.

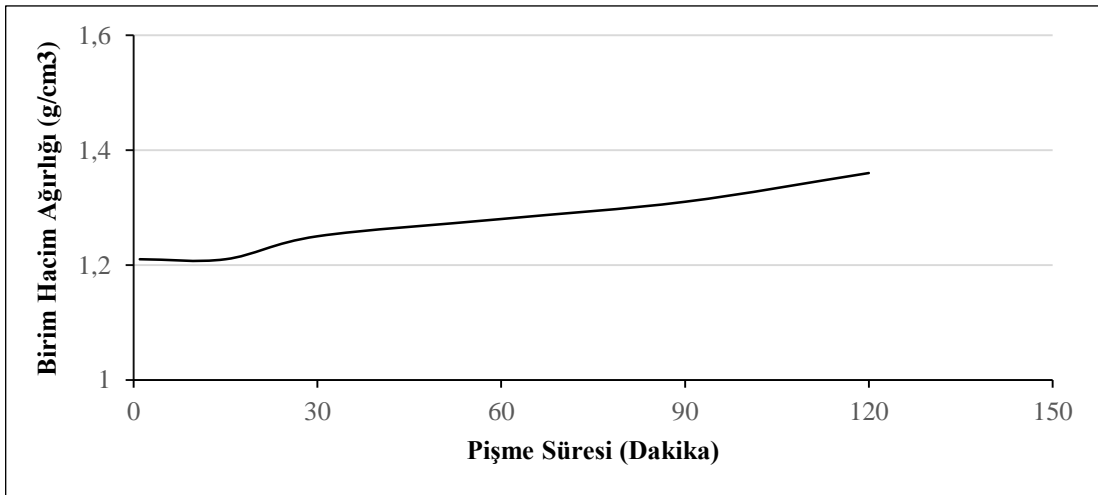


Fotoğraf 5.8. Derin dondurucu

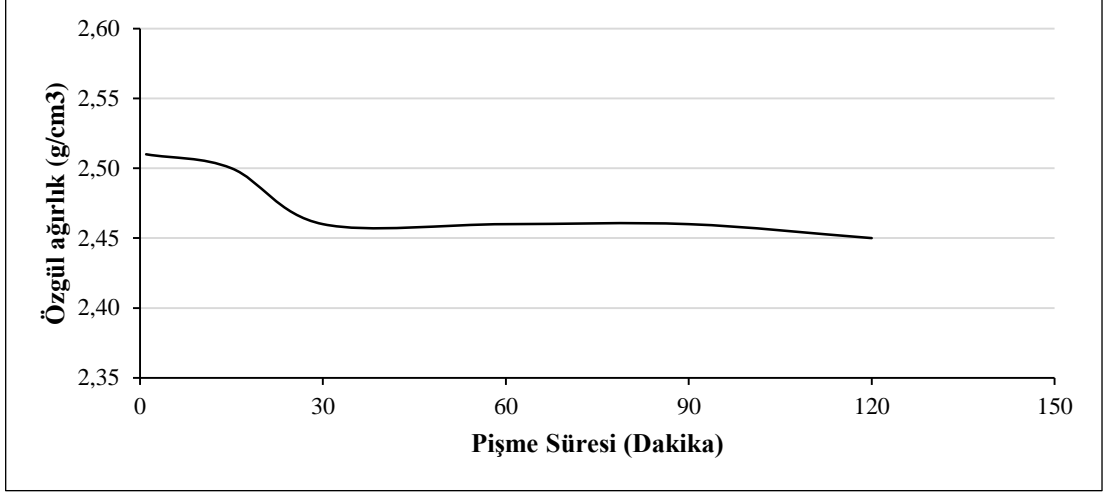
Çizelge 5.4. Taş ocağı atığından üretilen suni taşın fiziksel ve mekanik özellikleri

Deneyle	Numuneler					
	N ₁	N ₁₅	N ₃₀	N ₆₀	N ₉₀	N ₁₂₀
Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	1,21	1,21	1,25	1,28	1,31	1,36
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,51	2,50	2,46	2,46	2,46	2,45
Ağırlıkça su emme (%)	41	39	34	26	23	19
Görünür porozite (%)	48	46	41	34	34	29
Komposite (%)	48	48	51	52	59	63
Porozite (%)	52	52	49	48	41	36
Basınç gerilmesi (Mpa)	7,50	8,67	9,28	16,95	24,12	36,62
Donma çözülme sonu basınç gerilmesi (MPa)	5,25	6,15	6,68	13,81	19,30	25,3
Donma çözülme sonu basınç kaybı (%)	30	29	28	19	20	31
Aşınma dayanımı (mm)	*	*	*	3,34	3,10	2,93
Isı iletim katsayısı (W/m.K)	**	**	**	**	1,89	**

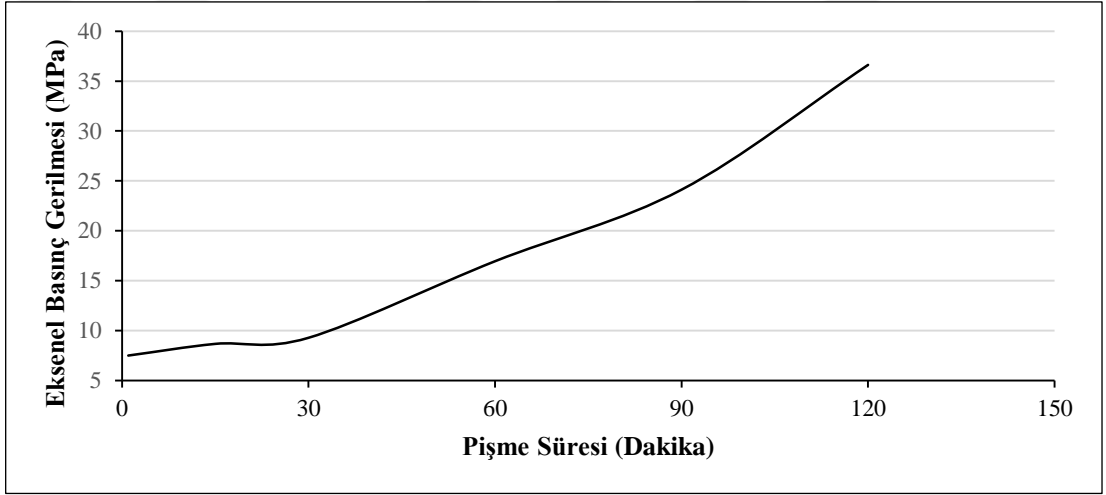
*Basınç gerilmesi düşük olan numunelerin muhtemelen aşınma dayanımının fazla olacağı için bu numunelerde aşınma deneyi yapılmamıştır
** Malzemenin bünyesel yapısından dolayı (Solak 2012) ısı iletkenlik değerinde çok fazla sapma olmayacağından bir numune üzerinde yapılan deney yeterli görülmüştür.



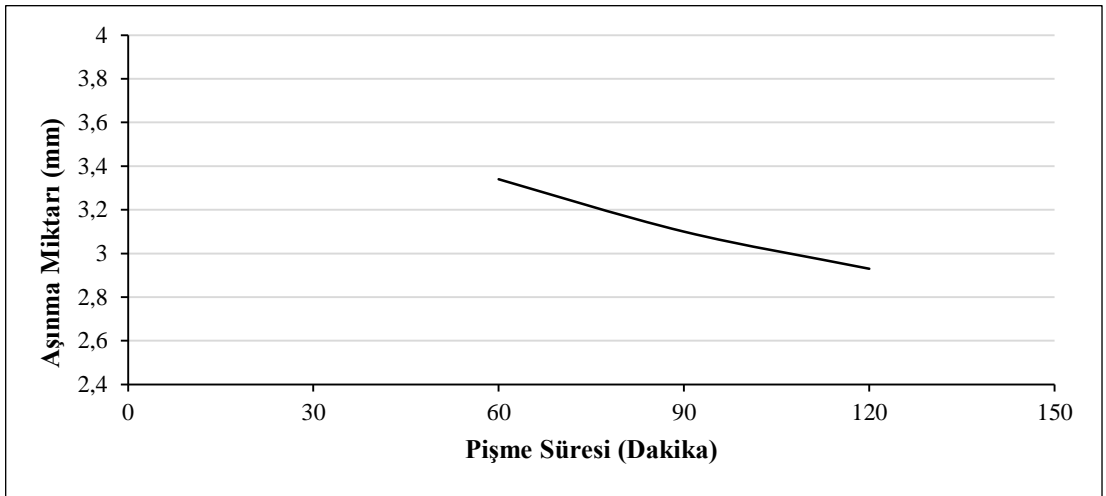
Şekil 5.34. Birim hacim ağırlığı



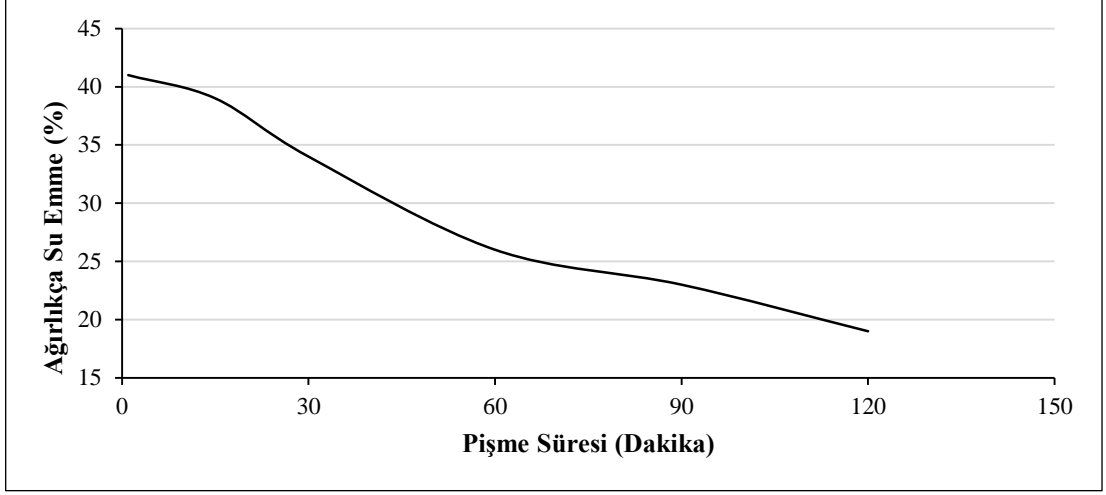
Şekil 5.35. Özgül ağırlık



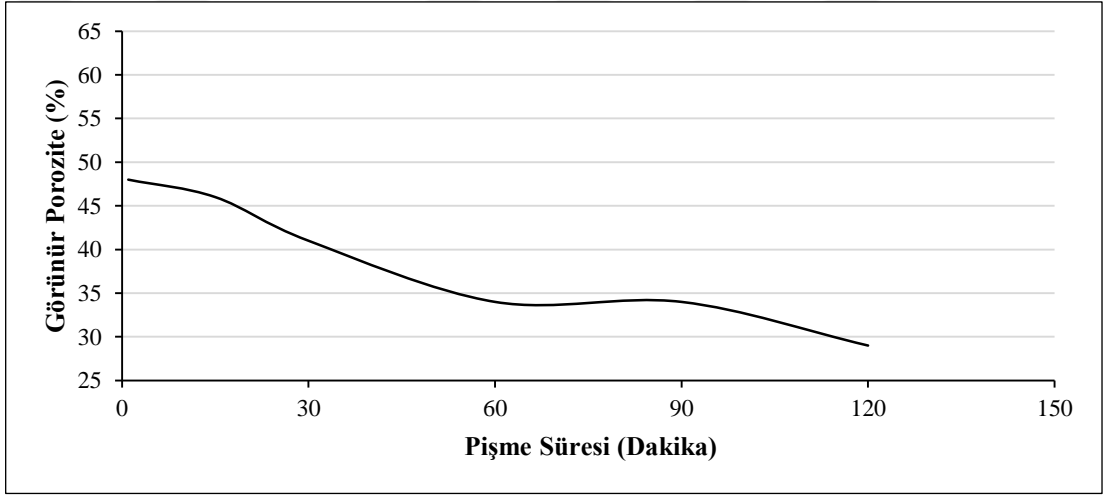
Şekil 5.36. Eksenel basınç gerilmesi



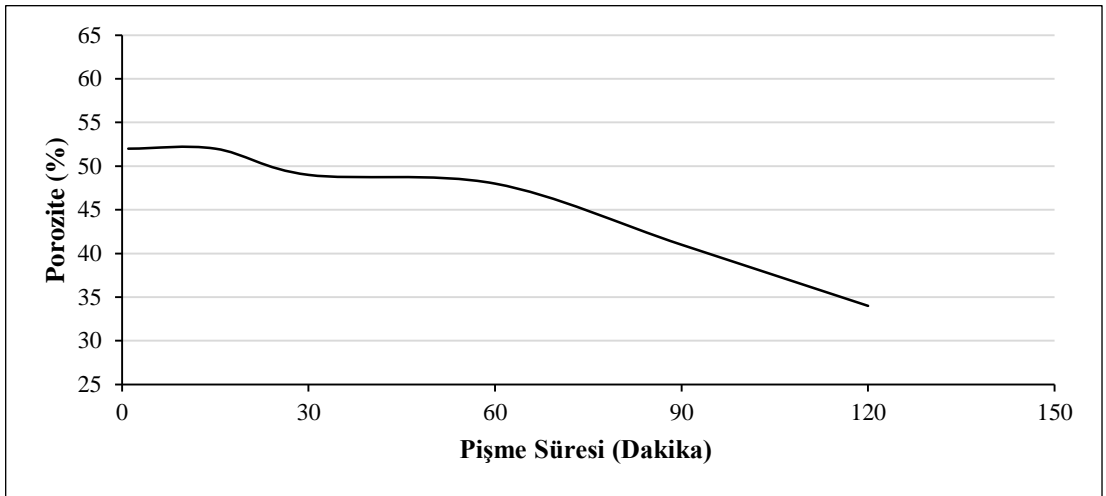
Şekil 5.37. Aşınma dayanımı



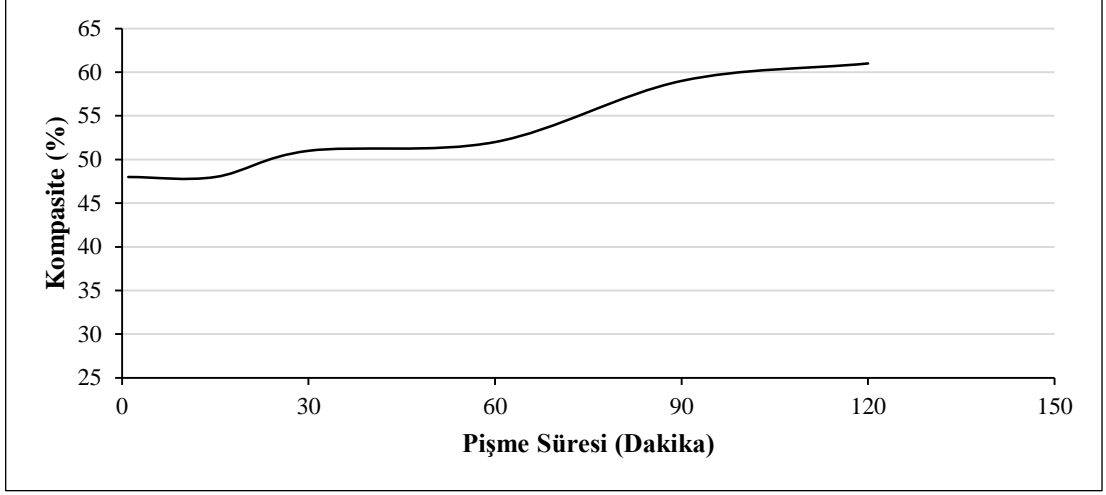
Şekil 5.38. Ağırlıkça su emme %'si



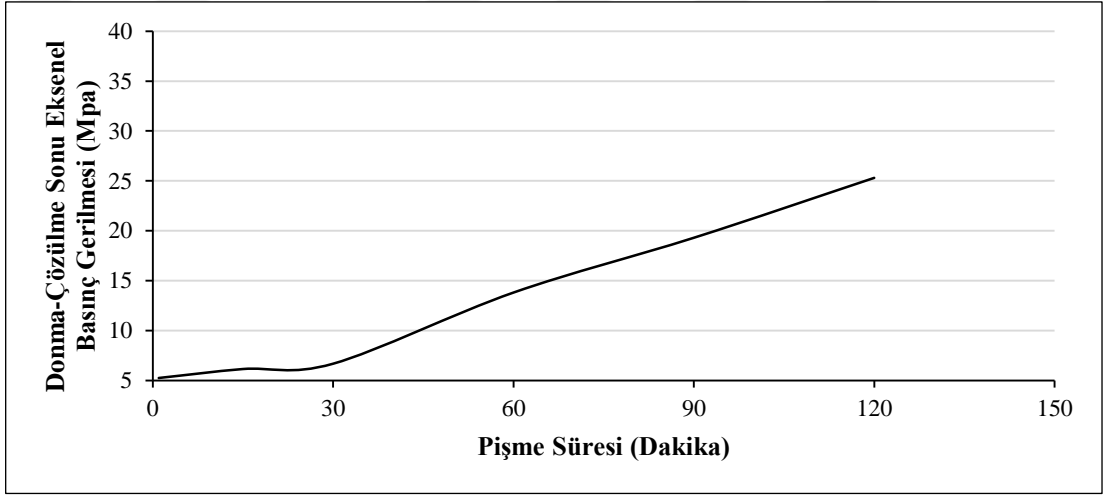
Şekil 5.39. Görünür porozite %'si



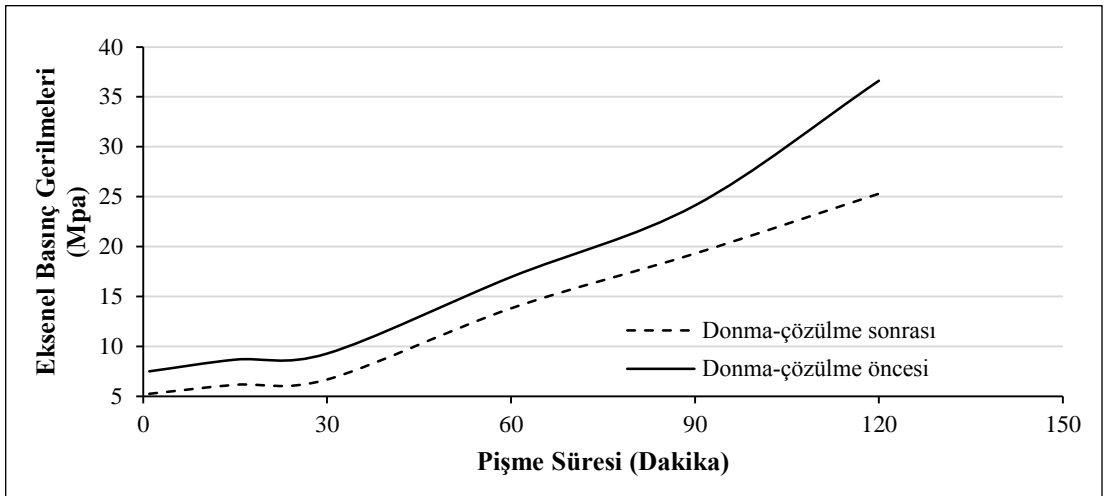
Şekil 5.40. Porozite



Şekil 5.41. Kompasite



Şekil 5.42. Donma çözülme deneyi sonunda basınç gerilmesi



Şekil 5.43. Donma çözülme deneyi sonunda basınç kaybı

5.3 Sonuçların İrdelenmesi

Kızılkaya formasyonunun petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili en önemli çalışmalardan biride Solak (2012) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasıdır. Tez çalışmasında Kapadokya bölgesi formasyonunda işletilen taş ocaklarından üretilen yapı taşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin bazıları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Bu çalışmada ise Kızılkaya formasyonunun Aktaş Kasabası taş ocağı atıklarına ısıtma işlemi uygulanarak üretilen inovatif suni taşın fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4’de verilmiştir. Yapılan bu çalışmada elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlıkları $1,21-1,36 \text{ g/cm}^3$ aralığında elde edilmiştir. Milyonlarca yıldır doğal ortamda şekillenen Kızılkaya formasyonu ignimbirit taş ocaklarından elde edilen birim hacim değerleri ise (Çizelge 2.1) $1,31-1,92 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişmektedir. Çalışma lokasyonunu oluşturan aktaş kasabası taş ocağının $1,31 \text{ g/cm}^3$ olan birim hacim değeri ile suni olarak geliştirilen taşın birim hacim ağırlığı minimumda $1,21 \text{ g/cm}^3$ elde edilmiş ve hemen birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Çalışmada; diğer taş ocakları değerlerine göre, taş ocağı atıkları ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, doğal ortamda bulunan ve yapı endüstrisinde kullanılan taşlardan daha hafif suni taş üretilerek endüstride kullanılabilir hale getirilmiştir.

Yapı teknolojisinde kullanılan doğal taşlarda aranan en önemli özelliklerden biride aksel basınç gerilme değerleridir. Kızılkaya formasyonu doğal taş ocaklarından elde edilen ve Çizelge 2.1’de verildiği gibi doğal taşların tek aksel basınç gerilme değerleri $5,45-57,42 \text{ MPa}$ aralığında bulunmaktadır. Adı geçen taş ocağının atıklarından üretilen suni taşın tek aksel basınç gerilme değerleri $7,50-36,62 \text{ MPa}$ aralığında değişmektedir. Aktaş kasabası doğal taş ocağının tek aksel basınç gerilmesi ise $5,45 \text{ MPa}$ olarak ölçülmüştür. Elde edilen basınç gerilme sonuçlarına göre; üretilen suni taşın minimum basınç gerilme değeri doğal taşınkinden %27 daha fazla elde edilmiştir. 120 dakika sürede pişirilen numunelerin ise doğal taşın nazaran 6,72 kat daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Tek aksel basınç gerilme değerlerine göre suni olarak üretilen numunelerin basınç gerilme değerleri K1, K10 ve K11 lokasyonu haricinde bütün lokasyon değerlerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Atık taşlardan üretilen ürünlerin doğal taşların yerine ikame edilebileceği ve yapı endüstrisinde kullanılabilir olduğu görülmektedir.

İncelenen formasyonu doğal taş ocaklarının ağırlıkça su emme yüzdeleri % 7,95-25,18 aralığında elde edilmiştir. Taş ocağı atığından elde edilen ürünlerin su emme yüzdeleri ise % 19-41 aralığında elde edilmiştir. Aktaş kasabası doğal taş ocağının ağırlıkça su emme yüzdesi %25,18 olarak ölçülmüştür. 120 dakika sürede pişirilen numunede % 19 olarak ölçülmüştür. Bilinen ağırlıkça su emme yüzde sonuçlarına göre; doğal taşın ağırlıkça su emme yüzdesi, üretilen suni taşın su emme yüzdesinden % 25 daha fazla olduğu ve suni olarak üretilen ürünlerin daha üstün teknolojik özellikleri içerdiği görülmüştür.

Solak (2012) tarafından Kızılkaya formasyonu doğal taş ocaklarında yapılan çalışmalara göre görünür poroziteleri % 15,26-33,55 aralığında bulunmuştur. Aktaş kasabası taş ocağı atıklarından üretilen örneklerin görünür poroziteleri ise % 29-48 aralığında değişmektedir. Aktaş kasabası doğal taş ocağının görünür porozite yüzdesi % 33,55 olarak ölçülmüştür. 120 dakika sürede pişirilen numunede görünür porozite %29, porozitesi ise %36 olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre doğal taşın görünür porozite yüzdesi, üretilen suni taşın görünür porozitesi yüzdesinden % 14 daha fazla olduğu görülmüştür. Mevcut su emme yüzdesi, birim hacim ağırlık ve diğer teknolojik verilerine göre, doğal ortamdaki taşların içindeki boşlukların birbiri ile bağlantılı olduğu, suni olarak üretilen ürünlerin bünyesinde bulunan bazı boşlukların izoleli olduğu ve birbiri ile bağlantılı olmadığı kanaatine varılmıştır.

Atık taş ocağından elde edilen inovatif ürün donma-çözünme deneyine tabi tutulmuş, gözle yapılan muayenelerde herhangi bir çatlamanın oluşmadığı, ancak yüzeyde önemsenmeyecek miktarda tozlaşmaların oluştuğu görülmüştür. Donma-çözünme deneyinden sonra tek eksenli basınç gerilme değerleri ölçülmüş ve %19-31 aralığında basınç mukavemeti kaybına uğradığı gözlenmiştir. Donma-çözülme sonu tek eksenli basınç değerleri dahi doğal ortamda bulunan malzemenin tek eksenli basınç gerilme değerlerinden fazla değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak Aktaş lokasyonundaki ignimbiritlerin homojen şekilli olduğu gözlenmesine rağmen bünyesinde pomza çakılı içermesi, farklı akıntılardan oluşması ve yumuşak yapıli özellikler içermesi, tek eksenli basınç gerilme değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır.

Bu sonuçlara göre suni olarak üretilen ürünlerin bünyesinde bulunan izoleli boşluklarından dolayı donma-çözünme tesirlerinden fazla etkilenmeyeceği, %48-63 aralığında yüksek doluluk oranına sahip olduğu için suni olarak üretilen ürünün daha üstün teknolojik özellikleri içerdiği ve özellikle soğuk iklim bölgelerinde kullanılabilir inovatif bir ürün elde edilmiştir.

Aynı zamanda ısıl işlem uygulanarak üretilen ürünlerin aşınma dayanımı değerleri 2,93-3,34 mm aralığında elde edilmiş olup aşınmalara karşı dirençli olduğu için aşınmaya maruz bölgelerde yapı taşı olarak kullanılabilir özelliklerdedir. Ancak ısı iletim katsayısının 1,89 W/mK gibi yüksek bir değer elde edildiğinden dolayı yalıtım malzeme özelliği içermemektedir.



BÖLÜM V

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Kapadokya yöresinde geniş yayılımları bulunan Kızılkaya ignimbirit formasyonundaki Aktaş Kasabası lokasyonu taş ocağı atıklarının çağdaş üretim teknikleri ile yeni bir malzeme üretiminde kullanılması hedeflenmiştir. Taş ocağı atıklarından üretilen örnekler ısı işlem uygulanarak yeni bir yapı malzemesi geliştirilmesi araştırılmıştır. Çalışma neticesinde deney bulgularından faydalanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada; üretilen numunelere 900–950–1000–1025–1050–1075–1100–1125–1150 ve 1200 °C sıcaklıkta ve 60 dakika pişirme süresi uygulanmıştır. 900, 950 ve 1000°C sıcaklıkta pişen numunelerde basınç dayanımı değerleri ölçülememiştir. 1025–1050–1075–1100–1125–1150 ve 1200 °C sıcaklıkta ve %15 alçı katkılı numunelerde en yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Düşük birim hacim ağırlığına ve en yüksek basınç dayanımı değeri ile ekonomik verilerde dikkate alınarak en uygun numunenin 1100 °C’de % 15 alçı katkılı olduğuna karar verilmiştir.

1. İkinci aşamada; % 15 alçı katkılı örnekler 1100 °C’de 1, 15, 30, 60, 90 ve 120 dakika sürelerde pişirilerek, örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri 1,21-1,36 g/cm³ aralığında elde edilmiş olup bu değerler hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebilecek sınıflar içinde kaldığı görülmüştür. Çalışma lokasyonunu oluşturan aktaş kasabası taş ocağının 1,31 g/cm³ olan birim hacim değeri ile numunelerin birim hacim ağırlığı minimumda 1,21 g/cm³ olarak hemen birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

3. Üretilen numunelerin tek eksenli basınç gerilme değerleri 7,50-36,62 MPa aralığında bulunmuştur. Doğal taş ocağının tek eksenli basınç gerilmesi ise 5,45 MPa olarak ölçülmüştür. Elde edilen basınç gerilme sonuçlarına göre; üretilen suni taşın minimum basınç gerilme değeri doğal taşınkinden % 27, 120 dakika sürede pişirilen numunelerin ise doğal taşa nazaran 6,72 kat daha tek eksenli basınç gerilme değeri elde edilmiştir.

4. Taş ocağı atığından elde edilen ürünlerin su emme yüzdeleri % 19-41 aralığında elde edilmiştir. Aktaş kasabası doğal taş ocağının ağırlıkça su emme yüzdesi % 25,18 olarak ölçülmüştür. 120 dakika sürede pişirilen numunenin su emme yüzde % 19 olarak ölçülmüştür. Doğal taşın ağırlıkça su emme yüzdesi, üretilen numunenin su emme yüzdesinden % 25 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

5. Taş ocağı atıklarından üretilen örneklerin görünür poroziteleri % 29-48 aralığında değişmektedir. Aktaş kasabası doğal taş ocağının görünür porozite yüzdesi % 33,55 olarak ölçülmüştür. 120 dakika sürede pişirilen numunede görünür porozite % 29, porozitesi ise % 36 olarak ölçülmüştür. Doğal taşın görünür porozite yüzdesi, üretilen suni taşın görünür porozitesi yüzdesinden % 14 daha fazla ölçülmüştür.

6. Üretilen numuneler donma-çözünme deneyine tabi tutulmuş, gözle yapılan muayenelerde herhangi bir çatlama gözlenmemiş, ancak yüzeyde 0,5 mm kalınlığında tozlaşmaların olduğu görülmüştür. Donma-çözünme deneyinden sonra tek eksenli basınç gerilme değerlerine % 19-31 aralığında basınç mukavemeti kaybına uğramıştır. 1 dakika sürede pişen numunede dahi Donma-çözülme sonu tek eksenli basınç değerleri 5,25 MPa elde edilmiştir. Doğal taş ocağının tek eksenli basınç gerilmesi ise 5,45 MPa olarak ölçülmüştür.

7. 1-120 dakika sürelerinde pişirilen numunelerin % 48-63 aralığında yüksek doluluk oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

8. Aynı zamanda ısı işleme uygulanarak üretilen ürünlerin aşınma dayanımı değerleri 2,93-3,34 mm aralığında elde edilmiş olup aşınmalara karşı dirençli olduğu için aşınmaya maruz bölgelerde yapı taşı olarak kullanılabilir özelliktedir.

9. Ancak ısı iletim katsayısının 1,89 W/mK gibi yüksek bir değer elde edildiğinden dolayı yalıtım malzeme özelliği içermemektedir.

Sonuç olarak; üretilen yeni ürünün, taş ocakları atıklarından elde edilen ham maddenin, sadece öğütülmek suretiyle doğrudan kullanım kolaylığına sahip olması, Türkiye’de bol miktarda taş ocağı atığı rezervinin bulunması, girdi ve üretim maliyetini düşük kılacaktır. Bunun yanında elde edilen ürünün doğal taş nazaran teknolojik yönden daha

üstün performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, taş ocakları atıklarından elde edilen ürünün yeni ve kapsamlı çalışmalarla endüstriyel üretim boyutuna taşınabileceğini göstermektedir.



KAYNAKLAR

Akbulut, H. ve Gürer, C., “Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi”, *İmo Teknik Dergi* 17, 3943-3960, 2006.

Arı Polat, T., Kil hamurunu bir kimyasal ile geliştirerek üretilen hafif yapı elemanı özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 1-2, 2011.

Aydan, Ö., Ulusay, R. and Yüzer, E., “Man-made structures in Cappadocia, Turkey and their implications in rock mechanics and rock engineering”, *ISRM News Journal* 6 (1), 63-73, 1999.

Aydan, Ö. and Ulusay, R., “Geotechnical and geoenvironmental characteristics of manmade underground structures in Cappadocia”, *Engineering Geology* 69, 245-272, 2003.

Aydan, Ö., Tano, H., Watanabe, H., Ulusay, R. ve Tuncay, E., “Kapadokya bölgesinde antik ve güncel kaya yapılarının kaya mekaniği açısından değerlendirilmesi”, *Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu*, Niğde, s. 1-12, 17-20 Ekim 2007a.

Aydan, Ö., Tano, H., Ulusay, R., Kumsar, H. ve Yenipınar, H., “Derinkuyu yeraltı şehrinin uzun süreli yapısal duraylılığı ve çevre koşullarının incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma”, *Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu*, Niğde, s. 24-34, 17-20 Ekim 2007b.

Ayhan, A. ve Papak, İ., Aksaray-Taşpınar-Altunhisar-Çiflik-Delihebil (Niğde) civarının jeolojisi, *MTA Raporu*, Ankara, 1988.

Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., Beton, 334, *Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Yayını*, İzmir, 2012.

Batum, İ., “Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl volkanitlerinin jeokimyası ve petrografisi”, *H.Ü. Yerbilimleri Dergisi* 4 (1-2), 27-34, 1978.

Beekman, P. H., “The Pliocene and quaternary volcanism in the Hasandağ-Melendizdağ region”, *MTA Bull.* 66, 99-106, 1966.

Bekar, M., Şapcı, N. ve Gündüz, L., “Aksaray bölgesi volkanik tüf serilerinin sıva malzemesi olarak kullanımı”, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, s. 11, 2006.

Besang, C., Eckhardt, F. J., Harre, W., Kreuzer, H. and Müller, P., “Radiometrische altersbestimmungen an neogenen eruptivgesteinen der Türkei”, *Geol.Jb.* 25, 3-36, 1977.

Beyhan, S., Beyhan, G. ve Keskinsezer, A., “Uçucu Kül ve Tüf Karışımı Katkının Harçlarda Çimento Yerine Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *International Symposium on Environment and Morality ISEM*, Alanya, 2016.

Boztuğ, D., S-I-A Type Intrusive Associations: “Geodynamic Significance of Synchronism Between Metamorphism and Magmatism” Central Anatolia, Turkey. Geological Society, London, *Special Publications* 173, 407-424, 2000.

Chaput, E., “Voyages d’etudes geologiques et geomorphologiques en Turkei”, *Mem Ins Francais d’Archeol Stanboul*, Paris, s. 312, 1936.

Çelik, M.Y. ve Emrullahoğlu, F.Ö., “Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 1(1), 35-49, 1999.

Çelik, Ö., “Uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur katkılarının çimento dayanımlarına etkileri”, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 2004.

De Witte, E., Terfve, A., Koestler, R.J. and Charola, A.E., “Conservation of the Göremerock: preliminary investigations”, *Proc. 6th. Int. Cong. on Deterioration and Conservation of Stone*, Torun Poland, pp. 346-355, 1988.

Deere, D.U. and Miller, R.P., Engineering Classification and Index Properties for İntact Rock, *Air Force Weapons Laboratory Technical Report No. AFWL-TR-65-116*, Kirtland Air Force Base, pp. 308, 1966.

Ekonomi Bakanlığı, Doğal taş sektörü-sektör raporları, Ankara, s. 1, 2016.

Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, A. E., Kayseri-Niğde-Nevşehir yöresi tersiyer volkanitleri, *M.T.A Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı Derleme No: 10575*, Ankara, 2003.

Ercan, T., Yıldırım, T. ve Akbaşlı, A., “Gelveri (Niğde)-Kızılçin (Nevşehir) arasındaki volkanizmanın özellikleri”, *Jeomorfoloji Derg.* 15, 27-36, 1987.

Ercan, T., Tokel, S., Can, B., Fişekçi, A., Fujitani, T., Notsu, K., Selvi, Y., Ölmez, M., Matsuda, J. I., Ul, T., Yıldırım, T. ve Akbaşlı, A., “Hasandağ-Karacadağ (Orta Anadolu), dolaylarındaki senozoyik yaşlı volkanizmanın kökeni ve evrimi”, *Jeomorfoloji Dergisi* 18, 39-54, 1990.

Ercan, T., Tokel, S., Matsuda, J., Ul, T., Notsu, K. and Fujitani, T., “New geochemicalisotopic and radiometric data of the quaternary volcanism of Hasandağı-Karacadağ (Central Anatolia)”, *TJK Bülteni* 7, 8-21, 1992.

Ergüvanlı, A. K. and Yüzer, A.E., “Past and present use of underground openingsexcavated in volcanic tufts at Cappadocia area”, *Proc. on Rock Storage*, Oslo Norway, pp. 15-17, 1977.

Ergüler, Z. A., “Field-based experimental determination of the weathering rates of the cappadocian tuffs”, *Engineering Geology* 105 (3–4), 186–199, 2009.

Gevrek, A. İ., Aksaray doğusu ihlara-derinkuyu yöresindeki volkanoklastiklerin sedimentolojisi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 230, 1997.

Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. and Sönmez, H., “Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles”, *Engineering Geology* 57 (3-4), 215-237, 2000.

Göncüoğlu, M. C. and Toprak, V., “Neogene and Quaternary volcanism of central Anatolia: a volcano-structural evolution”, *Bulletin de la Section de Volcanologie So. Geol.* 26, 1-6, 1992.

Güleç, N., Toprak, V. and Arcasoy, A., Evaluation of Melendiz Volcanic Complex using remote sensing and geographic information systems, *ODTU-AFP: 97-03-09-02*, Ankara, s. 84, 1997.

Güllü, B., Mamasun yöresi (Aksaray) magmatik kayalarının jeolojik petrografik ve jeokimyasal incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 163, 2003.

Güllü, B. ve Yıldız, M., “Mamasun (Aksaray) gabroyidlerinin petrojenetik karakteristiği”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 15 (1), 28-42, 2012.

Gürel, A., Kapadokya volkanik provenisi (KVP, Orta Anadolu) neojen serilerinin kil mineralojisi: sediman-paleosol’lerin kaynağı ve paleoiklim değişimi, *Tübitak*, Niğde Üniversitesi İdare Faaliyet Raporu, s. 36-51, 2009.

Gürel A. and Kadir S., “Geology and mineralogy and origin of clay minerals of the Pliocene fluvial-lacustrine deposits in the Cappadocian Volcanic Province, Central Anatolia”, *Clay and Clay Minerals* 54, 555-570, 2006.

Helvacı, C. ve Ergül, F., Volkanik kayalar (Oluşumu genel özellikleri ve sınıflaması), 285, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını*, İzmir, 2001.

Innocenti, F., Mazzuoli, G., Pasquare, F., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., “The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia; geochronological data on Kayseri-Niğde area”, *Geol. Mag.* 112 (4), 349-360, 1975.

Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A. and Poli, G., “Neogene and Quaternary volcanism in Anatolia and North-Western Iran”, In: *Andesite*, Ed: Thorpe, *John Willey and Sons*, 327-349, 1982.

Kadıoğlu, Y.K. ve Güleç, N., “Granitoidler içinde anklavların kökeni ve Türkiyeden örnekler”, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 8, 113-118, 1994.

Kadıoğlu, Y.K. ve Güleç, N., “Ağaçören (Aksaray) intrüzif takımının petrolojisi”, *20. Yıl Sempozyumu*, Adana, s. 35, 1995.

Kadıoğlu, Y.K. ve Güleç, N., “Ağaçören Granitiyidinde yer alan gabro kütlelerinin yapısal konumu Jeoloji ve Jeofizik (Özdirenç) verilerinin yorumu”, *Turkish Journal of Earth Science* 5, 153-159, 1996.

Kavas, T. ve Çelik, M. Y., “Ayazını (Afyon) tüflerinin çimento sanayiinde tras olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi”, *Madencilik*, 39-45, 2001

Kaya, G. ve Turan, S., “Yüksek fırın cürufunun seramik sektöründe katma değeri yüksek ürünlerin eldesin de değerlendirilmesi”, 45 (536), *Mühendis ve Makine*, 2004.

Kazancı, N. ve Gürbüz, A., “Jeolojik miras nitelikli Türkiye doğal taşları”, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 57 (1), 19-41, 2014.

Korkanç, M., “İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir Taşı”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 31, 40-60, 2007.

Korkanç, M., Zayıf kayaların direncinin etkileyen parametreler: Niğde-Nevşehir yöresi piroklaskikleri, *BAP Projesi 2010/19*, Niğde, 2012.

Korkanç, M., Şener, T., Doğan, B. ve Başkara, T., “Gümüşler-Aktaş (Niğde) bölgesinin genel jeolojisi ve yapı malzemesi potansiyeli”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 6 (1), 132-139, 2017.

Le Pennec, J. L., Bourdier, J. L., Froger J. L., Temel, A., Camus, G. and Gourgaud, A., “Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints”, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 63, 59–87. 1994.

Le Pennec, J. L., Temel, A., Froger, J. L., Sen, S., Gourgaud, A. and Bourdier, J. L., “Stratigraphy and age of the Cappadocia ignimbrites, Turkey: reconciling field constraints with paleontologic, radiochronologic, geochemical and paleomagnetic data”, *Journal of Volcanology And Geothermal Research* 141 (1-2), 45-64, 2005.

Lepetit, P., Viereck-Goette, L., Gürel, A. and Şener, M., “Geology of the Nevşehir plateau and the historical cultural site of the Göreme open air museum”, *Niğde University, and Symposium on the Geology of the Kapadokian Region*, Excursion Guide Book, pp. 1-28, 17-20 Oktober 2007.

Lepetit, P., Viereck-Goette, L., Schumacher, R., Schumacher, U. M. and Abratis, M., “Parameters controlling the density of welded ignimbrites-A case study on the İncesu İgnimbrite Cappadocia, Central Anatolia”, *Chemie der Erde/ Geochemistry* 69, 341-357, 2009.

Moon, V. G., “Geotechnical characteristics of ignimbrite: A soft pyroclastic rock type”, *Eng. Geol.* 35 (1/2), 33-48, 1993a.

Moon, V. G., “Microstructural controls on the geomechanical behaviour of ignimbrite”, *Eng. Geol.* 35 (1/2), 19-31, 1993b.

Nickmann, M., Spaun, G. and Thuro, K., “Engineering geological classification of weakrocks”, Engineering geology for tomorrow’s cities, *The 10th IAEG International Congress*, Nottingham United Kingdom, pp. 492, 1-9, 6-10 September 2006.

Pasquare, G., “Outlines of the Neogene and Quaternary volcanism of Asia Minor”, *Accad. Naz. Dei Linc.* 40, 1077-1085, 1966.

Pasquare, G., “Geology of Cenozoic volcanic area of Central Anatolia”, *Accademia Nazionale Dei Lincei*, Memorie: Roma, 55-204, 1968.

Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. and Zanchi, A., “Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia”, *Tectonophysics*, 146–230, 1988.

Saltık, E. N., Topal, T., Demirci, S., Türkmenoğlu, A. G., Toprak, V., Tavukçuoğlu, A., Sününer, H. S., Bakırer, Ö., Yasar, T., Akoğlu, K.G., Güney, B. A. ve Özler, C., Tarihi taş ocağı alanlarının belirlenmesi ve araştırılması, *Avrupa Topluluğu Projesi*, 2007.

Sarı, D. ve Yavuz, H., “Mermer parlaklığının nicel tanımı”, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Afyon, s. 265-274, 2001.

Sarı, M. ve Çömlekçiler, F., “Kızılıkaya ignimbritlerinde görülen süreksizliklerin incelenmesi ve kaya kütesinin tanımlanması”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 22 (1-2), 207-216, 2007.

Sarikaya, M. A., Çiner, A. and Zreda, M., “Fairy chimney erosion rates on Cappadocia ignimbrites”, *Insights From Cosmogenic Nuclides Geomorphology*, 182–234, 2015.

Schumacher, U. M. and Schumacher, R., “Problems in stratigraphic correlation and new K–Ar data for ignimbrites from Cappadocia, Central Turkey”, *International Geology Review* 38, 737–746, 1996.

Schumacher, R. and Schumacher, U. M., “The Kızılıkaya Ignimbrite-an unusual lowaspect-ratio ignimbrite from Cappadocia, Central Turkey”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 70, 107-121, 1996.

Sınıksaran, M., Volkanik tuf tozları ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. iv, 2012.

Solak, B., Farklı piroklastik kayaçların petrografik özelliklerinin mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 1-26, 2012.

Şimşek, F., “Anadolu Türk Mimarisinde Taş Malzeme”, *Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü*, İstanbul, s. 1-49, 2016

Taban, H., Gökçe, H. S. ve Abama, H. İ., “Çimento katkı malzemesi olarak kullanılan doğal puzolanların ekolojik etkileri”, *Politeknik Dergisi* 15 (4), 185-190, 2012.

Temel, A., Gündoğdu, M. N., Gourgaud, A. and Le Pennec, J. L., “Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey) petrology and geochemistry”, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 85, 447–471, 1998.

Temel, A., “Kapadokya yöresi volkanizması”, *Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu*, Niğde, s. 190-191, 17-20 Ekim 2007.

Topal, T. and Doyuran, V., “Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff”, *Engineering Geology* 47, 175-187, 1997.

Toprak, V. and Göncüoğlu, M. C., “Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian volcanic province”, *Geological Journal* 28, 357-369, 1993.

Toprak, V., “Central Kızılırmak Fault Zone: Northern Margin of Central Anatolian Volcanics.”, *Tr. J. Of Earth Sciences* 3, 29-38, 1994.

Tokel, S., Ercan, T., Akbaşlı, A., Yıldırım, T., Fişekçi, A., Selvi, Y., Ölmez, M. and Can, B., “Neogene tholeiitic province of Central Anatolia; Implication for magma genesis and Post-Collision Lithospheric Dynamics”, *Metu Jour. Pure Appl. Scien.* 21 (1-3), 461-477, 1988.

Tromp, S. W., Niğde-İncesu-Kızılırmak ve Tuzgölü sahaları arasında jeolojik etüt, *MTA rapor No: 1456*, Ankara, 1942.

TS 699, Doğal yapı taşları-İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2009.

TS EN 1926, Doğal taşlar - deney yöntemleri - tek eksenli basınç dayanımı tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2013.

TS EN 1936, Doğal taşlar - deney yöntemleri - gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2010.

TS EN 13279-1, Yapı ve sıva alçıları, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2009.

TS EN 13755, Doğal taşlar - deney yöntemleri - atmosfer basıncında su emme tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2014.

TS EN 14157, Doğal taşlar - deney yöntemleri - aşınma direncinin tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2017.

Tuğrul, A. and Zarif, I. H., “Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey”, **Engineering Geology** 51, 303–317, 1999.

Türel, K., Geology petrography and geochemistry of ekecikdağ plütonic rocks (Aksaray region, Central Anatolia), Doktora Tezi, **ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 194, 1991.

Türkecan, A., Akçay, A. E., Satır, M., Dönmez, M. ve Ercan, T., “Melendiz dağları (Niğde) volkanizması”, **56. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, Ankara, s. 16-17, 2003.

Ulusay, R., Akagi, T., Ito, T., Seiki, T., Yüzer, E. and Aydan, Ö., “Long term mechanical characteristics of Cappadocia tuff”, **Proceedings of the 9th ISRM International Congress**, G.Vouille and P. Berest (eds.), Paris, A.A. Balkema, 687-690, 1999.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z. A. and Kaşmer, Ö., “Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urgüp (Cappadocia)”, *Environmental Geology* 50, 473-494, 2006.

Ulusay, R. ve Aydan, Ö., “Kapadokya bölgesinde bazı yeraltı açıklıklarındaki tüflerin kayamühendisliği açısından değerlendirilmesi”, *Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu*, Niğde, s. 13-23, 17-20 Ekim 2007.

Viereck-Goette, L., Lepetit, P., Gürel, A., Ganskow, G., Çopuroğlu, İ. and Abratis, M., “Revised volcanostratigraphy of the Upper Miocene to Lower Pliocene Ürgüp Formation, Central Anatolian volcanic areas”, *Geological Society of America Special Paper* 464, 85-112, 2010.

Westerveld, J., “Phases of Neogene and Quaternary volcanism in Asia Minor”, *Cong. Geol. Inter.* XX Sec. 1, Meksika, 1956.

Yeşilyurt, E., Isıl işlem görmüş ham perlit ile yeni nesil yapı malzemesi geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 1, 2013.

Yıldız, M., Yıldız, A., Kahya, A. ve Gürcan, S., “Kızılkaya (Sevinçli/Aksaray) ignimbiritinin jeolojisi ve yapıtaşı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 30 (1), 2-6, 2014.

ÖZ GEÇMİŞ

1975 yılında Urfa'da doğdu. İlkokulu Milas/Muğla, ortaokulu Bayburt ve lise öğretimini Malatya'da tamamladı. 1993 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1997'de mezun oldu. 1998 yılından beri Yurtkur Kayseri Bölge ve Yurtkur Kayseri İl Müdürlüğünde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.



