



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



**TAZE HALDE SOĞUK HAVAYA MARUZ HAFİF BETONLARIN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet YOLCU

**KASIM 2019
GÜMÜŞHANE**

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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAZE HALDE SOĞUK HAVAYA MARUZ HAFİF BETONLARIN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

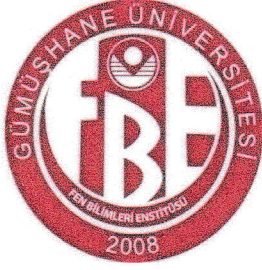
Ahmet YOLCU

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.11.2019

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 18.12.2019

KASIM 2019



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR danışmanlığında **Ahmet YOLCU** tarafından hazırlanan **“TAZE HALDE SOĞUK HAVAYA MARUZ HAFİF BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

Üye : Prof. Dr. Süleyman ADANUR

ONAY

Bu tez 08/01/20 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Taze Halde Soğuk Havaya Maruz Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

25.11.2019


Ahmet YOLCU

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAZE HALDE SOĞUK HAVAYA MARUZ HAFİF BETONLARIN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ahmet YOLCU

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

2019, 94 sayfa

Hafif betonların normal betonlara göre oldukça hafif olma, ısı ve ses yalıtımı sağlama, yangına karşı daha dayanıklı olma gibi üstünlükleri vardır. Hafif agregalar ile üretilmiş betonların hafiflik özelliği, mühendislere tasarım aşamasında esneklik sağlamaktadır. Yapılardaki sabit yükün azaltılması ile boyutları küçültülmüş yapı elemanları, daha az temel maliyeti, ısı ve ses yalıtım performansı, sismik etkilere karşı güçlendirilmiş performans gibi önemli avantajlar elde edilmektedir. Fakat betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin beton bileşiminde var olan agregaların özellikleri ile doğrudan ilgili olması nedeniyle hafif agregalı betonlar yeterli dayanıma ulaşırsalar bile bazen elastik özellikleri bakımından daha olumsuz durumda olabilmektedirler.

Bu çalışmada, Bitlis ilinden temin edilen, hafif ve doğal bir agrega türü olan pomza katkısıyla üretilen hafif beton numuneleri taze halde don etkisine maruz bırakılmıştır. Hazırlanan beton örnekler taze halde normal şartlarda ve farklı soğuk hava sıcaklıklarına (0°C, -5°C, -10°C) maruz bırakılarak 4 farklı koşulda üretilmiştir. Beton örnekler, don etkisine maruz kalmaları durumuna göre antifriz katkılı ve katkısız olarak üretilmiştir. Taze halde soğuk hava koşullarına maruz bırakılan beton örnekler, nihai dayanımlarını kazandıktan sonra bu örnekler üzerinde; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, görünür yoğunluk, görünür boşluk oranı, kılcal su emme, kapilerite, basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite), aşınma gibi mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiştir.

Bu çalışma, pomza katkılı hafif betonların taze halde soğuk hava şartlarına karşı dirençlerini ortaya koymaktadır. Sıcaklığın düşmesiyle basınç dayanımı, yarmada çekme ve aşınma dayanımı değerlerinin de düşmesine neden olmuştur. Aynı sıcaklık etkisinde antifriz kullanımı basınç dayanımı, yarmada çekme ve aşınma dayanımı değerindeki azalma miktarı daha az olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, Hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, Soğuk havada taze beton, Pomza.

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
FRESH LIGHTWEIGHT CONCRETES SUBJECTED TO COLD WEATHER**

Ahmet YOLCU

Gumushane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Associate Professor Özlem ÇAVDAR

2019, 94 pages

Lightweight concretes have advantages such as being very light, providing heat and sound insulation and being more fire resistant than normal concrete. The lightweight properties of concretes produced with lightweight aggregate provide engineers with flexibility in the design phase. By reducing dead load in buildings, significant advantages such as reduced structural elements dimensions, less basement cost, heat and sound insulation performance and increased performance against seismic effects are obtained. However, since the physical and mechanical properties of concrete are directly related to the properties of aggregates in the concrete composition, lightweight aggregate concretes can sometimes be more negatively in terms of their elastic properties, even if they reach sufficient strength.

In this study, lightweight concrete samples, produced with the one of the lightweight and naturel aggregate of pumice obtained from Bitlis province were subjected to frost effect in the fresh state. Prepared concrete samples were produced under fresh conditions and under normal conditions and they were exposed to different cold air temperature (0°C , -5°C , -10°C) under 4 different conditions. Concrete samples were produced with and without antifreeze additives used in case of exposed to frost effect. Fresh concrete samples exposed to cold weather conditions, after gaining the final strength on these samples; mechanical and physical properties such as compressive strength, splitting tensile strength, apparent density, apparent void ratio, capillary water absorption, capillarity, impermeability, and abrasion.

This study reveals the resistance of cold pumice lightweight concrete to cold weather conditions. As the temperature decreased, the compressive strength, splitting tensile strength and abrasion resistance values decreased too. Under the same temperature effect, the use of antifreeze slow the decreases of compressive strength, splitting tensile strength and wear resistance.

Keywords: Lightweight concrete, Physical and mechanical properties of lightweight concrete, Fresh concrete in cold weather, Pumice.

TEŞEKKÜR

“Taze Halde Soğuk Havaya Maruz Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım süresince bana değerli zamanını ayıran, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR’ a teşekkür ederim.

Bu tezin her aşamasında desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam ve ilk danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa ÇULLU’ ya teşekkür ederim. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU proje kapsamında ABD’ye bir yıllığına görevlendirilmiştir. Bundan dolayı tez yöneticiliğini Sayın Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR hocam üstlenmiştir. Her iki hocama da emeklerinden dolayı saygı ve şükranlarımı sunarım.

Desteğini benden esirgemeyen eşime ve bu süreçte bana neşe kaynağı olan çocuklarıma teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her an yanımda bulunan ailemin değerli üyeleri annem, babam ve çok değerli kardeşlerime teşekkür ederim. Ayrıca desteğini benden esirgemeyen Sayın Oğuzhan TOK’ a teşekkür ederim.

Bu çalışmamı; eşim Armağan ÇINAR YOLCU ile çocuklarım Mehmet Emin YOLCU ve Barış Ali YOLCU’ya ithaf ediyorum.

Ahmet YOLCU
Gümüşhane, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.3. Beton ve Beton Türleri	2
1.3.1. Normal Betonlar	2
1.3.2. Ağır Betonlar	3
1.3.3. Hafif Betonlar ve Hafif Betonların Türleri	4
1.4. Hafif Betonların Özellikleri	11
1.4.1. Taze Beton Özellikleri	11
1.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri	14
1.5. Hafif Agregaya Kaynakları	19
1.5.1. Doğal Hafif Agregalar	19
1.5.2. Yapay Hafif Agregalar	32
1.5.3. Organik Kökenli Hafif Agregalar	39
1.6. Hafif Beton Üretim Yöntemleri	41
1.7. Hafif Betonun Normal Betona Göre Üstünlükleri	41
1.8. Hafif Betonun Normal Betona Göre Sakıncaları	42
1.9. Soğuk Havada Beton Üretimi	42
1.9.1. Soğuk Havanın Betonun Özelliklerine Etkisi	44
1.9.2. Soğuk Hava Koşullarında Üretilecek Beton İçin Öneriler	45

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	48
2.1.	Materyal	48
2.1.1.	Agrega (Pomza)	48
2.1.2.	Çimento	50
2.1.3.	Beton Antifrizi	50
2.1.4.	Karışım Suyu	51
2.2.	Yöntem	51
2.2.1.	Beton Örneklerinin Üretimi ve Dona Maruz Bırakma	51
2.2.2.	Kapilerite (Kılcallık) Tayini	53
2.2.3.	Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini (İmpermeabilite)	54
2.2.4.	Görünür Yoğunluk Tayini	55
2.2.5.	Su Emme Oranı	55
2.2.6.	Basınç Dayanımının Tayini	56
2.2.7.	Yarmada Çekme Dayanımı Tayini	57
2.2.8.	Aşınma Tayini	58
2.3.	Numunelerin Adlandırılması	59
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	60
3.1.	Kapilerite (Kılcallık)	60
3.2.	Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini (İmpermeabilite)	64
3.3.	Görünür Yoğunluk Tayini	67
3.4.	Su Emme Oranı	69
3.5.	Basınç Dayanımı	72
3.6.	Yarmada Çekme Dayanımı	77
3.7.	Aşınma Tayini	80
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
5.	KAYNAKLAR	84
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Cattenom (Fransa) Nükleer Santrali	3
Şekil 1.2. Hafif betonların sınıflandırılması	5
Şekil 1.3. Heidrun açık deniz petrol platformu	6
Şekil 1.4. Tarihi Pantheon Tapınağı	6
Şekil 1.5. Hafif beton kullanılmış çok katlı bina örnekleri	7
Şekil 1.6. Pomza agregaları	20
Şekil 1.7. Türkiye' de pomza ve perlit yatakları	20
Şekil 1.8. Perlit agregaları	28
Şekil 1.9. Diyatomit	29
Şekil 1.10. Volkanik cüruf	30
Şekil 1.11. Tüf	31
Şekil 1.12. Genleştirilmiş perlit agregaları	32
Şekil 1.13. Genleştirilmiş kil agregaları	33
Şekil 1.14. Genleştirilmiş vermikülit agregaları	34
Şekil 1.15. Yüksek fırın cürufu	35
Şekil 1.16. Uçucu kül	36
Şekil 1.17. Silis dumanı	38
Şekil 1.18. Organik kökenli agrega örnekleri	40
Şekil 1.19. Beton sıcaklığı-dayanım gelişimi grafiği	43
Şekil 1.20. Soğuk havada beton dökümü	43
Şekil 1.21. Soğuk havada beton üretiminde alınacak bazı önlemler	46
Şekil 2.1. Pomza agregalarının eleme işlemi	49
Şekil 2.2. Beton örneklerin üretim aşamaları	52
Şekil 2.3. Dona maruz bırakılan beton örnekler	52
Şekil 2.4. Kapilerite deney düzeneği	54
Şekil 2.5. Basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite) deney düzeneği	55

Şekil 2.6.	Beton basınç presi	57
Şekil 2.7.	Yarmada çekme deney düzeneği	58
Şekil 2.8.	Aşındırma deney düzeneği	59
Şekil 3.1.	Antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları	62
Şekil 3.2.	Antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları	63
Şekil 3.3.	Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların basınç altında su işleme derinliği (impermeabilite değerleri)	66
Şekil 3.4.	Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların görünür yoğunluk değerleri	68
Şekil 3.5.	Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların ortalama su emme oranı değerleri	71
Şekil 3.6.	Antifriz katkısız hafif betonların ortalama basınç değerleri	74
Şekil 3.7.	Antifriz katkılı hafif betonların ortalama basınç değerleri	75
Şekil 3.8.	Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların yarmada çekme dayanımı değerleri	79
Şekil 3.9.	Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların ortalama aşınma oranları	81

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	TS EN 206-1 standardına göre betonların birim ağırlıklarına göre sınıflandırılmaları	2
Tablo 1.2.	Hafif beton için basınç dayanımı değerleri	4
Tablo 1.3.	Çeşitli standartlara göre taşıyıcı hafif betonların özgül ağırlık ve basınç dayanımları	10
Tablo 1.4.	Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması	14
Tablo 1.5.	Beton sınıfları, dayanımları ve elastisite modülü	16
Tablo 1.6.	Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşenleri	21
Tablo 1.7.	Pomzanın fiziksel özellikleri	21
Tablo 1.8.	Silis dumanı incelik değerinin karşılaştırılması	38
Tablo 1.9.	Taze betonun en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri	44
Tablo 1.10.	Taze betonun farklı sıcaklıklardaki priz süresi	44
Tablo 2.1.	Pomza agregasına ait fiziksel özellikler	49
Tablo 2.2.	Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	50
Tablo 2.3.	Beton antifrizinin özellikleri	50
Tablo 2.4.	Numunelerin adlandırılması	59
Tablo 3.1.	Taze halde normal koşullarda antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde emilen su miktarları ve kapilerite katsayısı değerleri	60
Tablo 3.2.	Taze halde normal koşullarda antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde emilen su miktarları ve kapilerite katsayısı değerleri	61
Tablo 3.3.	Beton örneklerin basınç altında su işleme derinliği (impermeabilite değerleri)	65
Tablo 3.4.	Beton örneklerin görünür yoğunluk değerleri	67
Tablo 3.5.	Beton örneklerin ortalama su emme oranı değerleri	70
Tablo 3.6.	Beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri	72
Tablo 3.7.	Beton örneklerin yarmada çekme dayanımı değerleri	77
Tablo 3.8.	Beton örneklerin ortalama aşınma oranları	80

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM: Amerikan Standardı

TS : Türk Standardı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hafif agregalı betonlar; hafiflik, kullanım kolaylığı, ses ve ısı yalıtımı açısından normal agregalı betonlarla kıyaslandığında daha avantajlıdır. Hafif betonların ısı yalıtımının iyi, yangına karşı dirençli ve hafif olması tercih edilmesini sağlamıştır. Normal betonla inşa edilmiş bir yapıya göre yapı daha hafif olduğundan binanın zati yükleri de daha azdır. Bundan ötürü binanın deprem performansı daha iyidir. Bu gerekçelerle bazı ülkelerde özellikle yüksek bina yapımında tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Beton bileşiminin yaklaşık %75' i kaba ve ince agregalardan oluşur. Agreganın beton bileşimindeki bu yüksek oranı onu önemli kılmaktadır. Hafif beton üretiminde çeşitli yöntemler var olsa da en yaygın kullanılanı doğal veya yapay hafif agregalarla hafif beton üretmektir. Hafif beton üretiminde yaygın olarak kullanılan doğal bir taş olan pomza Ülkemizde zengin yataklara sahiptir. Pomza birbirinden bağımsız irili ufaklı bir sürü gözeneğe sahiptir.

Kış mevsiminin sert geçtiği Ülkemizde beton dökümü yapmak bir hayli zordur. Sertleşmiş betonun projede belirtilen dayanım değerine ulaşması için uygun malzeme seçimi, uygun karışım oranı, iyi bir planlama, özenli bir işçilik, uygun beton kürü gerektirir.

Beton dökümünden sonra don olayının yaşanması durumunda betonun karışım suyu donar ve çimentonun hidratasyonu için gerekli olan su bulunamaz. Bu nedenle beton prizini tamamlamamış olur. Beklenen dayanımı kazanamamış taze beton dona maruz kalırsa betonda ciddi hasarlar oluşabilir. Ancak beton beklenen dayanımı kazandıktan sonra dona maruz kalırsa oluşma olasılığı olan hasar daha az olmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, agrega olarak pomza kullanımının taze haldeki hafif betonların soğuk hava şartlarındaki fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemektir. Bu amaçla, hazırlanan beton örnekler antifriz katkısız ve katkılı olarak 10 cm çapında 20 cm boyunda silindirik örnek şeklinde üretilmiştir. Hazırlanan beton örnekler antifriz katkı durumuna göre iki gruba ayrılmıştır.

Birinci grup 0 °C, -5 °C, -10 °C 'de taze halde iki gün boyunca don etkisine maruz bırakılmıştır. İki günün bitiminde oda sıcaklığında bir gün bekletilen beton örnekler kalıptan çıkartılmıştır. Beton örnekler 28 güne kadar su kürüne tabi tutulmuştur. İkinci grup ise normal üretim koşullarına maruz bırakılmıştır. Taze halde soğuk hava koşullarına maruz bırakılan beton örnekler, nihai dayanımlarını kazandıktan sonra bu örnekler üzerinde; basınç ve yarmada çekme dayanımı, görünür yoğunluk, görünür boşluk oranı, kılcal su emme, kapilerite, basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite), aşınma gibi mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiştir.

1.3. Beton ve Beton Türleri

Beton; çimento, ince-kaba agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinin (kimyasal ve/veya mineral) belirli bir oranda bir arada karıştırılması sonucu elde edilen karışımın, arzu edilen şekildeki ve boyuttaki kalıpların içine mümkün olduğunca boşluksuz bir şekilde yerleştirilerek, uygun kür (bakım) koşulları altında sertleşmesi ile elde edilen ve yaygın olarak kullanılan kompozit bir yapı malzemesidir. Tablo 1.1' de TS EN 206-1 standardına göre betonlar birim kütleleri açısından normal, hafif ve ağır betonlar olarak üçe ayrılmaktadır. Hafif betonların birim kütlelerinin 2000 kg/m³' ten az olduğu görülmektedir.

Tablo 1.1. TS EN 206-1 standartına göre betonların birim kütlelerine göre sınıflandırılmaları (TS EN 206-1, 2002)

Hafif Beton	$800 \text{ kg/m}^3 \leq \text{Birim Kütlesi} \leq 2000 \text{ kg/m}^3$
Normal Beton	$2000 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim Kütlesi} \leq 2600 \text{ kg/m}^3$
Ağır Beton	$2600 \text{ kg/m}^3 < \text{Birim Kütlesi}$

1.3.1. Normal Betonlar

Etüv kurusunun yoğunluğu 2000 kg/m³ değerinden büyük ve 2600 kg/m³ değerinden küçük olan bir beton türüdür. Maliyetlerinin ucuz, dayanımlarının yüksek, üretimlerinin rahat, kolay ulaşılabilir ve kullanılabilir olmasından kaynaklı çokça tercih edilmektedir (Şimşek, 2007).

Ancak birim kütlelerinin hafif betonlara oranla yüksek olmasından dolayı yapılarda kütle artışına sebep olmaktadır. Bu durum deprem anında olumsuzluklara neden olmaktadır.

Serin vd. (2007), yaptıkları çalışmada; normal agregâ, pomza ve diyatomit agregaları kullanarak beton bloklar imal etmişlerdir. Normal beton bloklarda normal agregâ, hafif ile yarı hafif beton bloklarda ise normal agregâsı, diyatomit ve pomza agregaları kullanıldığını belirtmişlerdir. Normal agregâ ile imal edilen beton blokların basınç dayanım değeri, pomza ve diyatomit agregâsı kullanarak imal edilen beton bloklara göre yüksek çıktığını ifade etmişlerdir. Ayrıca normal agregâsı, diyatomit ve pomza agregaları kullanarak imal edilen hafif ve yarı hafif beton blokların ara bölme duvar elemanı ve yalıtım blokları olarak kullanılmasının uygun olduğunu ancak taşıyıcı beton olarak kullanılmasının uygun olmadığını gözlemlemişlerdir.

1.3.2. Ağır Betonlar

Sertleşmiş betonun etüv kurusunun yoğunluğu 2600 kg/m^3 değerinden büyük olan genellikle ağır agregâ kullanarak imal edilen bir beton türüdür (Şimşek, 2007).

Özellikle radyo aktif ışımaların olduğu nükleer enerji santrallerinde, hastanelerin radyasyon kaynağı olan bölümlerinde, atom laboratuvarlarda kullanılırlar. Ayrıca ağırlık barajlarının gövdelerinde, istinat duvarlarında, köprülerin ayaklarında, sığınaklarda ve askeri mühimmat depolarında kullanılırlar.

Şekil 1.1' de görülen Fransa'nın Cattenom kentinde bulunan Cattenom Nükleer Santrali'nin inşasında ağır beton kullanılmıştır.



Şekil 1.1. Cattenom (Fransa) Nükleer Santrali (URL-1)

Yılmaz (2009), yaptığı çalışmada; baritin, betonun öncelikle radyasyon geçirgenliği özelliğini, daha sonrada fiziksel ve mekanik özelliklerine nasıl etki ettiğini incelemiştir. Türk standartlarına göre yapılan deneyler sonucunda değişik oranlarda barit agregası kullanılarak imal edilen betonun ağır beton üretiminde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Doğan (2012), yaptığı çalışmada; Siderit ve Limonit madenlerini değişik oranlarda beton karışımına eklenerek elde edilen beton örneklerin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Ayrıca aynı beton örnekler üzerinde radyasyon geçirimsizliğini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda; Siderit agregasıyla değişik oranlarda imal edilen beton örneklerin, yüksek dayanım beklenen yapılarda kullanılabileceğini, ayrıca radyoaktif madde kullanılan ve nükleer ışımaya maruz yapılarda taşıyıcı sistem ve zırhlama malzemesi olarak da kullanılabileceğini gözlemlemiştir. Limonit agregası kullanılarak imal edilen beton örneklerinin dayanım ve çekme değerleri düşük çıkmasından ötürü yüksek mukavemet beklenen yapılarda kullanılmasının uygun olmadığını, ancak radyasyon geçirimsizlik değerlerinin düşük olması nedeniyle radyasyon zırhlama malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

1.3.3. Hafif Betonlar ve Hafif Betonların Türleri

TS EN 206-1 (2002)' de hafif beton, etüv kurusu durumdaki birim kütlesi; 2000 kg/m³'ten küçük, 800 kg/m³' ten büyük olan beton olarak tanımlanmaktadır.

Hafif betonların özellikleri, hafif beton üretiminde kullanılan agregaların karakteristik özellikleriyle doğrudan ilgilidir (TS 2511, 2017).

Hafif betonlar özellikle ısı yalıtımı sağlaması ve zati yükü azaltması nedeni ile beton çeşitleri içerisinde önemli bir yere sahiptir (Akol, 2010).

Hafif betonlar aynı standarda göre karakteristik silindir dayanımlarının 8 MPa ile 80 MPa aralığında değiştiği Tablo 1.2' de görülmektedir.

Tablo 1.2. Hafif beton için basınç dayanımı değerleri (TS EN 206-1, 2002)

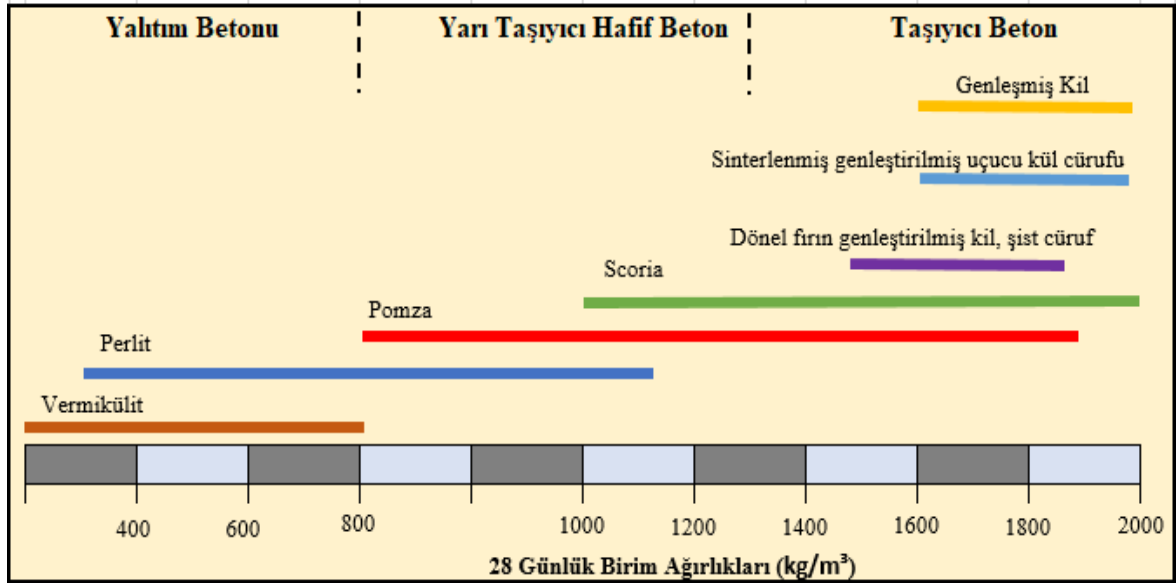
Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı F_{ck,sil} (MPa)	En Düşük Karakteristik Küp* Dayanımı F_{ck,küp} (MPa)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22

(Tablo 1.2. Devamı)

LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

* Küp ve silindir numune basınç dayanımları arasında yeterli kesinliğe sahip ilişki kurulması ve bu ilişkinin belgelendirilmesi şartıyla, verilen bu dayanımlardan başka değerler de kullanılabilir.

Üretiminde yalnızca hafif agregalar kullanılarak hafif betonların gruplandırılması da görülmektedir. Şekil 1.2.' de kullanılan agrega cinsine göre hafif betonların sınıflandırılması yer almaktadır. Kullanılan agrega çeşidine göre betonun birim hacim ağırlığı(kütlesi) ve dayanım değeri değişmektedir.



Şekil 1.2. Hafif betonların sınıflandırılması (Akkaş, 2011).

Yüzen deniz yapılarının bazılarında hafif beton kullanılmaktadır. Şekil 1.3' de hafif betonla üretilen Heidrun açık deniz petrol platformu görülmektedir.



Şekil 1.3. Heidrun açık deniz petrol platformu (Yolcu, 2018).

Şekil 1.4’ de görülen tarihi Pantheon Tapınağı’ nın 43 metreyi aşan kubbesi pomza taşı hafif agregalı beton ile MS 128 yılında inşa edilmiştir (Baradan, Yazıcı ve Ün, 2010).



Şekil 1.4. Tarihi Pantheon Tapınağı (Baradan, Yazıcı ve Ün, 2010)

Sanayileşmiş birçok ülkede hafif betonlar diğer betonlardan birçok yönden daha avantajlı oldukları için tercih edilmektedir. Şekil 1.5’de hafif beton kullanılmış çok katlı bina örnekleri görülmektedir. Hafif betonlar kullanım amaçlarına göre; yalıtım betonları, taşıyıcı hafif betonlar ve yarı taşıyıcı hafif betonlar olarak üç gruba ayrılmaktadır.



Şekil 1.5. Hafif beton kullanılmış çok katlı bina örnekleri a) Lake Point Tower (URL-2).
b) Australia Square (URL-3).

Kocaman ve Okuroğlu (2002), tarafından yapılan çalışmada, Erzurum-Pasinler yöresinden temin edilen agregalar ile imal edilen hafif betonların ısı iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hafif agregayla imal edilen beton örneklerinin birim kütle ve ısı iletkenlik değerlerinin düşük olduğu, doğal ve ayarlanmış granülometrilili agregayla imal edilen beton örnekler arasında kayda değer bir farklılık olmamakla beraber ayarlanmış granülometrilili beton örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Aktaş (2007), yaptığı çalışmada; birim kütlesi normal betona kıyasla daha düşük olan betonarme elemanlara çelik lifler ilave etmek suretiyle taşıyıcı elemanların imalatının olabildiğini incelemiştir. Hafif betonlara eklenen çelik liflerin tokluk değerlerini ve basınç dayanımını artırdığını, fakat elastisite modülünü değiştirmediğini gözlemiştir. Normal betona kıyasla çelik lif ilaveli hafif betonarme kirişlerdeki ağırlık azalmasının %45 - %60 olarak gerçektelemiştir. Aderans boşalması problemine hafif betonarme kirişlerde rastlandiğı belirtmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, elastisite modülünün hafif betonlarda düşük olmasının önemli bir sakınca olduğunu vurgulamıştır.

şahin vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada; Van ili Erciş ilçesinden temin edilen doğal hafif agregaya, değişen oranlarda PVC atıklarının ilave edilmesiyle imal edilen hafif betonların bazı özelliklerini incelemişlerdir. PVC' nin karışım içerisindeki oranının artmasıyla beton numunelerinin basınç dayanımlarının ve birim kütlelerinin arttığını, su emme miktarının ise azaldığını gözlemişlerdir. Üretilen hafif betonun tarımsal amaçlı yapılarda, depolama yapılarında, hayvan barınaklarında ve konutlarda duvar blok elemanı olarak kullanılmasının yararlı olabileceğini belirtmişlerdir.

Öztürk (2012), beton karışımında hafif agrega kullanarak betonun birim kütlesini azaltmış, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmış, betona ısı yalıtım özelliği kazandırmak istemiştir. Üretilen hafif beton numunelerinin ses geçiş hızıyla yoğunluğun doğru orantılı olarak bir değişim görüldüğünü ancak karışım oranlarına bağlı olarak yüksek basınç dayanımında da ses geçiş hızının düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak hafif agrega kullanılarak imal edilen hafif beton, enerji verimliliği açasından büyük bir değişim ortaya koyduğunu gözlemiştir.

1.3.3.1. Yalıtım Betonları

Düşük yoğunluklu ve düşük mukavemetli, ısıl direnci yüksek olan yalıtım amaçlı hafif betonu taşıyıcı olması beklenmeyen yapılarda kullanılan bir beton türüdür. Yalıtım amaçlı hafif betonları perlit ve vermikülit gibi hafif agregalarla üretilirler.

Orcay (2010), yaptığı çalışmada; genleştirilmiş polistren ile imal edilen yalıtım betonlarının ısı iletkenlikleri ve mekanik özellikleri hakkında yeterli miktarda veri elde etmeği amaçlamıştır. Hafif betonların birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Genleştirilmiş polistrenli betonun birim ağırlığı arttıka ısı iletim katsayısının da arttığı belirtilmiştir. Betonun içindeki genleştirilmiş polistren

miktarı arttıkça geçirimsizlik (kılcallık) katsayısının azaldığı görülmüştür. Genleştirilmiş polistrenli hafif betonlardan birim ağırlığı 250-400 kg/m³ arasında olanlar yalıtım elemanı olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

1.3.3.2. Yarı Taşıyıcı Hafif Betonlar

Yarı taşıyıcı hafif betonların basınç dayanımları 7 MPa değerinden büyük ve 17 MPa değerinden küçük olan orta dayanımlı beton sınıfında yer almaktadır. Bunlar ısı yalıtım açısından da ara bölgede bulunmaktadır. Yarı taşıyıcı hafif betonlar, ön üretime dayalı duvar ve çatı paneli gibi yapı elemanlarının imalinde kullanılmaktadır. Yük aktarımı, ısı yalıtımı ve zamandan tasarruf gibi önemli kazanımlar sağlamaktadır (Kotan, 2009).

1.3.3.3. Taşıyıcı Hafif Betonlar

TS 2511' e (2017) göre birim kütlesi en fazla 1900 kg/m³ ve karakteristik basınç dayanımı 17 MPa' dan daha büyük olan hafif agregalı betonlar taşıyıcı hafif beton olarak sınıflandırılmaktadır.

Sertleşmiş betonun etüv kurusunun yoğunluğu 1350 kg/m³ değerinden büyük ve 1900 kg/m³ değerinden küçük olan, 28 günlük basınç dayanımı ise 17 MPa değerinden büyük olan yapısal hafif betonlar taşıyıcı beton olarak kabul edilmektedir. Taşıyıcı hafif betonların betonarme yapılarda kullanılması durumunda zati yükün %25 oranında azalması sağlanmaktadır. Bu azalma yapıdaki statik ve dinamik yük etkilerinin azalmasını ve taşıyıcı eleman kesitlerinin küçülmesini böylece inşa edilecek yapının maliyetinin düşmesini sağlamıştır. Bundan ötürü betonarme yapılarda taşıyıcı hafif beton kullanımı giderek artmaktadır (Kotan, 2009).

Taşıyıcı hafif betonlar; hazır duvar panel, blok, köprü açıklıkları, çatı katı döşemeleri, prefabrik beton elemanların yapımında genellikle tercih edilmektedir.

Tablo 1.3.' de ulusal ve uluslararası çeşitli standartlara göre taşıyıcı hafif betonların özgül ağırlık ve basınç dayanımları yer almaktadır. Buna göre özgül kütleleri ve standart silindir karakteristik basınç dayanım değerleri ulusal ve uluslararası standartlara göre farklılık göstermektedir.

Tablo 1.3. Çeşitli standartlara göre taşıyıcı hafif betonların özgül ağırlık ve basınç dayanımları (Gönen, 2009).

Standart	Özgül Kütle (kg/m ³)	Standart Silindir Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)
ASTM C 330	≤ 1840	≥ 17
CEB-FIB	< 1900	≥ 16
TS 2511	< 1900	≥ 17
ACI 213R-03	< 1840	≥ 17

Dinçer ve Çağatay (2004), ince ve iri agregaların yerine farklı oranlarında pomza agregası kullanılmak suretiyle taşıyıcı hafif betonların mekanik özelliklerini incelemiştir. Normal agregaya %50 oranına kadar iri pomza eklenmesiyle gerilme-şekil değiştirme grafiği eğrilerinin altında kalan alanda iyileşmeler görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, normal betona pomza katkısı kullanılmasıyla betonların mekanik özelliklerinde kayda değer bir azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006), yaptıkları çalışmada; pomza ve mineral katkı kullanılarak imal edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini incelemiştir. Silis dumanı ilaveli beton örneklerinin her yaşta daha iyi basınç dayanımı özelliği sergilediği görülmüştür. Kontrol betonu örnekleri ilk yaşlarda silis dumanı ilaveli beton örnekleri ile yakın özellikler gösterdiğini, uçucu kül ilaveli beton serilerinde erken yaşlarda kayda değer bir artış gözlenmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada ayrıca uçucu kül ilaveli beton serisi ileri yaşlarda kontrol betonuna daha yakın sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Türkel ve Kadiroğlu (2007), yaptıkları çalışmada; Kayseri yöresine ait pomza ile silis dumanı ve uçucu kül kullanarak hafif beton ürettiklerini belirtmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda ürettikleri hafif beton örneklerinin taşıyıcı hafif beton standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

Akkaş (2011), Isparta yöresinden elde edilen normal agregaya ve pomza agregası kullanılarak hafif beton imal etmiştir. Agregaya ve katkı değişiminin betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmak için karışımdaki agregaya oranına bağlı olarak agregaya ve pomza belli oranlarda değiştirildiğini ve taşıyıcı hafif beton numuneleri ile bütün agregaya pomza olan hafif beton numuneleri imal etmiştir. Çalışma sonucunda; agregaya ikamesi yapılarak imal edilen pomza agregalı taşıyıcı hafif betonların, taşıyıcı elemanlarda kullanılabileceğini ve taşıyıcılık özelliğinin standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Kaldı (2011), iri agrega yerine hafif agrega kullanılarak üç farklı dayanımda taşıyıcı hafif beton üretmiştir. Yine üç farklı dayanımda normal ağırlıkta kontrol betonları üretildiğini belirtmiştir. Sonuç olarak, taşıyıcı hafif betonla çözümlenen projenin ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu görülmüştür (Kaldı, 2011).

Keskiner (2016), Bitlis pomzası kullanılarak kendiliğinden yerleşen fiber takviyeli hafif beton tasarımının ve özelliklerinin incelenmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucunda genel olarak daha kısa olan fiberlerin kullanıldığı beton karışımlarının taze beton özelliklerinde gelişmeler görülmüştür. Eğilmede çekme dayanım değerlerinin makro fiberlerin kullanıldığı serilerde daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.

Taşkın (2016), Bitlis pomzası kullanılarak imal edilen kendiliğinden yerleşen hafif betonların tasarımının ve özelliklerinin incelenmesinin amaçlandığını belirtmiştir. Tasarlanan bütün kendiliğinden yerleşen hafif betonların 28 günlük kür yaşı sonrasında taşıyıcı beton özelliklerini kazanmıştır. Karışımında ince agrega olarak öğütülmüş pomza taşı kumu kullanılan betonlar, ince agrega olarak doğal nehir kumu kullanılan betonlardan daha düşük dayanım sergilemiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton tasarımında uçucu kül kullanılan seriler, pomza tozu kullanılan serilere göre daha yüksek dayanım ve durabilite özellikleri sergilediklerini ifade etmiştir.

1.4. Hafif Betonların Özellikleri

Hafif beton özelliklerini taze ve sertleşmiş beton özellikleri olarak incelemek mümkündür.

1.4.1. Taze Beton Özellikleri

Şekil verilebilir ve yumuşak durumda olan betona taze beton denilmektedir. Beton bileşiminde bulunan çimento ve suyun hidratasyonu sonucu bu karışım bir süre sonra katılaşmaya başlamakta ve şekil verilemez hale gelmektedir.

Beton katılaşmadan önce taşınıp kalıplara sıkıştırılarak yerleştirilmesi ve mastarlanması gerekmektedir. Sertleşmiş betondan beklenen yeterli dayanım, dayanıklılık ve hacim sabitliğinden söz edilebilmesi için;

- Beton bileşimindeki malzemeler kolay karılabilir ve beton içinde homojen bir dağılım gösterecek şekilde olmalıdır.

- Taze beton; homojen bir şekilde kolay taşınabilir ve kalıp içerisindeki her noktaya ulaşacak şekilde kolayca sıkıştırılabilir olmalıdır.
- Katılma (priz) süresi taze betonun döküleceği ortama uygun olmalıdır.
- Kalıba yerleştirilip sıkıştırılan taze beton kolayca masterlanabilir olmalıdır.
- Taze beton bileşiminde yer alan su hidrasyon olayını devam ettirmek için mümkün olduğunca beton içerisinde kalmalı ve betona zarar verebilecek düzeyde terlemeye neden olmamalıdır (Erdoğan, 2013).

Özellikle hafif agregalarla üretilmiş hafif betonların işlenebilirliğinin iyi olabilmesi için agregaların su emme miktarları kontrol edilerek beton karışımına öyle eklenmelidir. Özellikle kuru agrega kullanımında hidrasyon için gerekli su agrega tarafından fazlaca emilecektir. Bu da beton karışımının işlenebilirliğini olumsuz etkileyecektir. Bu betondan fiziksel ve mekanik anlamda iyi bir performans beklemek mümkün değildir.

Hafif agregalar taze beton karışımında rahatlıkla segregasyona (ayrışmaya) uğrayabilirler. Bu olumsuz durumun oluşmaması için taze betonun uygun süre karılması ve sıkıştırılması gerekmektedir.

Hafif agrega ile üretilen hafif betonların ayrışmasını önlemek amacıyla çökme değeri en fazla 10 cm olmalıdır (TS 2511, 2017).

1.4.1.1. İşlenebilirlik

Taze haldeki betonun ayrışmaya uğramadan kolayca karılabilmesi, taşınabilmesi, kalıplara yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin masterlanabilmesi betonun işlenebilirliğinin ne ölçüde olduğunu göstermektedir. Bundan ötürü bu özelliklerin hepsi işlenebilirlik çatısı altında tek bir kavramla ifade edilmektedir (Erdoğan, 2013). Bu işlemler yapılırken taze haldeki betonun homojenliğini ve kohezyonunu kaybetmemesi gerekir (Şimşek, 2007). İşlenebilirliği iyi olmayan taze beton sertleştiğinde betondan beklenen dayanım ve dayanıklılığı gösteremez.

Beton karışımındaki karma suyu miktarı, hava miktarı, çimento miktarı ve özellikleri, agrega özellikleri, agrega tane şekli ve tane dağılımı, ince agregaların miktarı ve tane dağılımı, sıcaklık, zaman ve katkıları taze betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörlerdir (Shoaei, 2013).

Taze haldeki hafif betonun işlenebilirliğini arttırmak için; akışkanlaştırıcı veya hava sürükleyici katkıları kullanmak, çimento miktarını arttırmak, uçucu kül kullanmak, ince agrega miktarını arttırmak başvulacak yöntemlerdir (Kamanlı ve Balık, 2003).

1.4.1.2. Kıvam

Betonun kıvamı ile işlenebilirliği kavramlarını ayırmak gerekir. Kıvam betonun plastikliğini ya da kendi ağırlığından kaynaklanan hareket etme yeteneğini ifade eder. Taze betonun kıvamı karma suyun bir fonksiyonu olduğu gibi agrega tane şekli ve tane dağılımının da bir fonksiyonudur (Şimşek, 2007).

Taze betonun ne derece ıslak veya kuru olduğu betonun kıvamı olarak tanımlanabilir. Taze betondaki su miktarı olarak tanımlamak oldukça yanlış bir ifadedir. Taze betonun kıvamı, yalnızca taze beton kütesindeki kayma kuvvetlerinden etkilenmektedir. Kıvam kavramı içinde, taze betonun akıcılığı ve kohezyonu yer almamaktadır. Kıvam kavramı, işlenebilirlik kavramını tam olarak karşılamasa da taze betonun işlenebilirliği hakkında önemli bilgiler vermektedir (Erdoğan, 2013).

Kıvamı düşük olan bir taze beton, yüksek kıvamdaki bir betona göre daha zor karılabilmekte ve daha zor pompalanıp yerleştirilebilmektedir. Taze beton kıvamının iyi olması iyi işlenebilir bir beton olduğu anlamına gelmemektedir. Oldukça sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinde çimento harcı ile iri agregalar ayrışmaya uğramaktadır. Bu tür betonlar için kıvamı iyi ama işlenebilirlik açısından uygun değildir denilebilir (Erdoğan, 2013).

1.4.1.3. Birim Kütle

Hafif betonlarda işlenebilirlikten sonra en önemli özellik birim kütledir. Hafif agregalı betonların yoğunluğu, betonların bileşiminin yaklaşık %75' ini oluşturan agreganın yoğunluğuna bağlıdır. Aynı malzemelerden üretilmiş olsalar bile, değişik üretim teknikleri kullanılarak betonların yoğunlukları ve dayanımları değiştirilebilir (Uygunoğlu, 2008).

Hafif betonların birim kütlesi; agregaların tane dağılımına, çimentonun miktarına, agregaların nem ihtivasına, karışımın oranına, su/bağlayıcı oranına, katkı maddelerine, betonun yerleştirme ve sıkıştırma yöntemi ile kür koşullarına bağlıdır (Dikici, 2010).

TS EN 206-1 (2002)' e göre hafif betonların yoğunluk sınıfı D 1.0 ile D 2.0 arasında değişmektedir. Yoğunluk sınıflarına bağlı olarak hafif betonun yoğunluğu 800 kg/m³ ile 2000 kg/m³ aralığında değişmektedir.

Tablo 1.4' de TS EN 206-1' e göre hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 1.4. Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (TS EN 206-1, 2002).

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk Aralığı (kg/m ³)	≥ 800 ve ≤ 1000	> 1000 ve ≤ 1200	> 1200 ve ≤ 1400	> 1400 ve ≤ 1600	> 1600 ve ≤ 1800	> 1800 ve ≤ 2000

1.4.1.4. Hava Miktarı

TS EN 206-1 (2002) standardına göre betonda yer alması beklenen hava miktarı; normal ve ağır betonda TS EN 12350 – 7 ' ye, hafif betonda ise ASTM C 173' e uygun olarak tayin edilmelidir. Hava miktarı, en küçük değerle tarif edilir. En küçük değere % 4 sabit sayı ilave edilmesiyle hava miktarının üst sınırı bulunur.

Taze haldeki betonda yer alan ve kapalı agrega boşlukları dışında var olan hava hacminin betonun toplam hacmine oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir (Kaldı, 2011).

Beton yapısında iki tip hava bulunabilir. Birincisi betonu oluşturan malzemeler karıştırılırken taze haldeki, betonda üniform dağılım sergilemeyen, betonun homejen yapısını bozan ve betonda bir kusur olarak taze betonun kalıplara yerleştirilmesi esnasında beton içinde kalan havadır. Bu havanın vibrasyon ve sıkıştırma ile mümkün olduğunca beton bünyesinden çıkarılması gerekir. İkinci hava içeriği yani; sertleşen betonun dayanıklılığını artırmak ve taze haldeki betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmek için özel hava katkıları kullanılarak beton yapısında meydana getirilen üniform dağılımlı hava kesecikleridir (Güner ve Süme, 2000).

1.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, bağlayıcı maddelerin sürekli hidrasyon yapması sonucunda, zamanla değişme ve gelişme göstermektedir. Hidrasyon hızında

zamanla bir azalma meydana gelmektedir. Beton üretildikten 5-10 sene sonra özellikleri değişmeyen bir cisim haline gelir (Postacıoğlu, 1987).

1.4.2.1. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, aksenal basınç yükü etkisinde betonun kırılmamak için gösterebileceği direnç yani aksenal basınç yükü etkisinde betonda oluşan en büyük gerilme olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2013).

Hafif agregalı betonlardaki dayanım artışı, genel olarak beton bileşiminde kullanılan agreganın birim kütle ile ilişkilidir. Başka bir ifadeyle, agreganın yoğunluk değeri arttıkça hafif betonun dayanım değeri de artabilir (Uygunoğlu, 2008).

Hafif betonda kullanılan hafif agregaların dayanım değerleri bağlayıcının dayanımı değerinden daha küçük olduğundan, yüksek dayanım değerine sahip bağlayıcı kullanılarak hafif betonun dayanımı artırılabilir (Kotan, 2009).

Agrega tanelerinin dayanımı, nem içeriği, çimento özellikleri, çimento miktarı, su/bağlayıcı oranı, mineral ve kimyasal katkıları, kür koşulları ve betonun yaşı basınç dayanımını etkileyen faktörler olarak gösterilebilir.

1.4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Silindir beton örneğinin altında ve üstünde birer plaka olacak şekilde presin altına plakalara dik yönde sabit hızla basınç yüklenmesi suretiyle silindir beton örneğinin kırılma anında okunan değeri, örneğe ait yarmada çekme dayanım değeridir. Betonda oluşan basınç gerilmeleri sonucunda çekme gerilmeleri de oluşur. Örneğe uygulanan yük doğrultusunda beton kısalmaya, diğer doğrultuda ise uzamaya uğrar.

1.4.2.3. Elastisite Modülü

Yüke maruz kalan bir cisimde meydana gelen deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki sabit oran, teorik anlamda elastisite modülünü, elastik şekil değiştirmeye karşı bir malzemenin gösterdiği direnç pratik anlamda elastisite modülünü ifade eder (Kotan, 2009).

Tablo 1.5’ da beton sınıfları ile betonun dayanım ve elastisite modülü görülmektedir. Betonun basınç dayanım değeri arttıkça çekme dayanımının ve elastisite modülü değerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 1.5. Beton sınıfları, dayanımları ve elastisite modülü (TS 500, 2000).

Basınç Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} (MPa)	Eşdeğer Küp (200mm) Basınç Dayanımı, (MPa)	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} (MPa)	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c
C16	16	20	1.4	27000
C18	18	22	1.5	27500
C20	20	25	1.6	28000
C25	25	30	1.8	30000
C30	30	37	1.9	32000
C35	35	45	2.1	33000
C40	40	50	2.2	34000
C45	45	55	2.3	36000
C50	50	60	2.5	37000

Betonu oluşturan malzemelerden çimento ve agrega elastik davranış gösterirken yüksek gerilme değerlerinde betondan elastik bir malzeme özelliği göstermesi beklenmez (Uygunoğlu, 2008).

1.4.2.4. Dayanıklılık (Durabilite)

Betonun fiziksel ve kimyasal etkiler ile mekanik yüklere karşı koyabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir (Özkul , Taşdemir, Tokyay ve Uyan, 2004).

Beton zararlı kimyasal etkilere, donma ve çözölmeye, ısınma ve soğumaya, ıslanma ve kurumaya dayanıklı olmalıdır. Bu etkilere betonun dayanıklılığını sağlamak amacıyla bazı durumlarda özel çimentolar kullanmak yeterli olabilir. Su/Bağlayıcı oranının küçük olması, beton için zararlı etkileri olan kimyasal maddelerin betona nüfuz etmesini zorlaştıracak ve betonun daha az geçirimli bir yapıda olmasını sağlayacaktır. Donma ve çözölmeye etkisine maruz kalacağı düşünülen betonlarda katkı maddesi olarak hava sürükleyici katkıların kullanılmasının uygun sonuçlar sağlayacağı açıktır (TS 802, 2009).

1.4.2.5. Büzülme (Rötire)

Betonda hacim sabitliği genel olarak aranılan özelliklerdendir. Betondaki hacim değişiklikleri betonun hizmeti boyunca yapısal açıdan kayda değer bir deformasyon oluşturmamalıdır (Şimşek, 2007).

Rötire, betonun bünyesindeki suyun kimyasal etkiler ve/veya fiziksel etkiler sonucunda kaybolması (azalması) neticesinde betonun hacmindeki azalmadır. Beton taze halde plastik rötireye, sertleşmiş halde ise kuruma rötiresine maruz kalabilir (Erdoğan, 2013).

Büzülme etkisine maruz kalan betonda çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklarda betonun basınç dayanımı başta olmak üzere diğer fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilir.

Rötireye etki eden faktörler olarak; beton bileşimi, ortam koşulları, beton elemanın boyutları ve betondaki donatı miktarı sayılabilir (Güner ve Süme, 2000).

1.4.2.6. Sünme

Malzemenin üzerine uygulanan sabit yükün etkisiyle zaman ilerledikçe malzemenin yavaş olarak sergilediği deformasyona sünme denilmektedir. Sünmeyi etkileyen faktörler olarak; betona uygulanan sabit gerilmenin büyüklüğü, beton elemanın boyutları, beton elemanın hacim/yüzey oranı, çimento tipi ve miktarı, su/bağlayıcı oranı, betonun yaşı, katkı maddelerinin türü ve miktarı, ortam sıcaklığı, göreceli nem miktarı, agrega miktarı, agreganın elastiklik modülü sayılabilir (Erdoğan, 2013).

Sünme olayına maruz kalan betonlarda büzülmeye maruz kalan betonlarda gözleendiği gibi çatlaklara rastlanır. Bu çatlaklar da betonun performansını olumsuz etkilemektedir. Normal betona göre elastisite modülü düşük olan hafif betonda sünmeye bağlı şekil değiştirme daha fazladır.

1.4.2.7. Yoğunluk

Hafif betonların yoğunluk değerleri bu betonların üretimlerinde kullanılan özellikle hafif agregaların yoğunluk değerlerine bağlıdır. Beton üretiminde aynı malzemeler kullanılmış olsa dahi farklı üretim teknikleri kullanılarak üretilen betonların basınç dayanım değerleri ve yoğunluk değerleri değiştirilebilmektedir. Hafif agrega kullanılarak üretilen

betonun yoğunluğu; karışımı oluşturan malzemelerin oranlarına, agreganın yoğunluğuna, agreganın nem içeriğine, agreganın tane dağılımına, su/bağlayıcı oranına, katkı maddelerine, çimento içeriğine, hava miktarına bağlıdır (Uygunoğlu, 2008).

1.4.2.8. Porozite

Betondaki porozite, gerek agregadan kaynaklanan gerekse çimento hamurundan kaynaklanan, betonun içyapısındaki boşluk (gözeneklilik) oranıdır. Bu gözeneklilik değeri ne kadar büyük olursa hava veya su geçirimliliği de o ölçüde büyük olur. Geçirimliliği yüksek bir betona zararlı maddelerin ve suların nüfuz etmesi daha kolaydır. Bu da beton için istenmeyen olumsuz durumların ortaya çıkmasına davetiye çıkarır.

1.4.2.9. Kapilerite (kılcal su emme)

Beton numunenin alt yüzeyinin suya temas etmesi ile beton elemanın bünyesindeki kılcal boşluklarda suyun yer çekimine aykırı hareket etmesi olayıdır.

1.4.2.10. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini (İmpermeabilite)

Basınçlı suya maruz kalan beton numunesinin bünyesine suyun nüfuz etmesi olayıdır.

1.4.2.11. Aşınma

Basınç dayanımı yüksek olan betonların aşınma dirençleri de yüksektir şeklinde bir genelleme yapılabilmektedir. Betonun büyük çoğunluğu agregalardan oluştuğu için asıl aşınma etkisi agregadan gelir (Şimşek, 2007).

Normal betonlara göre hafif agregalı betonların aşınma dayanımları düşüktür. Bunun nedeni de hafif betonların yapısında olan hafif agregaların normal agregalara göre daha az aşınma dayanımına sahip olmalarıdır. Öte yandan agrega çimento ara yüzeyindeki kenetlenme de etkilidir (Uygunoğlu, 2008).

1.5. Hafif Agregaya Kaynakları

Hafif beton üretiminde hafif agregaya kullanmak en çok tercih edilen yöntemdir. Hafif agregalar doğal ya da yapay yollardan temin edilmektedir. Ayrıca doğal kaynaklardan elde edilen organik kökenli hafif agregalar kullanılarak da hafif betonlar üretilmektedir.

1.5.1. Doğal Hafif Agregalar

Eleme ve kırma işlemleri dışında herhangi bir işleme maruz kalmayan doğal kaynaklardan temin edilen; pomza, tuf, diyatomit gibi agregalardır.

Balun (2013), tarafından yapılan çalışmada, hafif agregaya kullanılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen harçlarda hafif agregaya kullanımının dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kendiliğinden yerleşen harç üretiminde; iki farklı çapta dere agregası normal agregaya olarak, genişletilmiş perlit ve pomza ise hafif agregaya olarak; uçucu kül ve silis dumanı mineral malzeme olarak kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, üretiminde hafif agregaya kullanılan harçların taze haldeki özellikleri bakımından kendiliğinden yerleşebilirlik ölçütlerine uyduğu görülmüştür. Su emme değerlerinin hafif agregaya kullanımıyla arttığını gözlemiştir. Hafif agregaya oranları arttıkça harç numunelerinin mekanik özelliklerinin azaldığını saptamıştır. Fakat bütün seriler kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif harç özellikleri taşımaktadır.

1.5.1.1. Pomza

Pomza, kullanılan en eski yapı malzemelerinden biridir. Roma ve Antik Yunan dönemlerinde pomza, tapınaklar, amfiteyatrolar, hamamlar, su kemerleri, mahzenler ve konut yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yapılar günümüze kadar gelmeyi başarmışlardır. İtalyanca ponz, İngilizce pumice, Almanca bimsstein olarak adlandırılan pomza dilimizde topuk taşı, köpük taşı, süngertaşı, hışır taşı olarak adlandırılmaktadır (Gönen, 2009).

Ülkemiz endüstrisinde yeni bir kaynak olan ve değeri yeni yeni anlaşılan pomza madeni dünya endüstrisinde oldukça eski bir kaynaktır. Pomza volkanik olaylar sonucunda oluşmuş camsı, süngerimsi, boşluklu, dış etkilere karşı dirençli, birim kütlesi 500 kg/m³ ile 900 kg/m³ arasında değişen silikat esaslı volkanizma sonucu oluşmuş bir kaynaktır. Farklı

Tablo 1.6’ da ise asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşenleri yüzde oranları görülmektedir. Asidik pomzanın SiO₂ oranı bazik pomzaya göre oldukça yüksektir.

Tablo 1.6. Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşenleri (Çelikten, 2014)

Bileşimi	Asidik Pomza (%)	Bazik Pomza (%)
SiO ₂	70.00	45.00
Al ₂ O ₃	14.00	21.00
Fe ₂ O ₃	2.50	7.00
CaO	0.90	11.00
MgO	0.60	7.00
Na ₂ O + K ₂ O	9.00	8.00
A.K.	3.00	1.00

Asidik ve bazik volkanizma sonucu asidik ve bazik pomza oluşmaktadır. En yaygın olanı asidik pomza, beyaz veya kirlili beyaz renktedir. Bazik pomza (scoria) ise siyah veya kahverengi renktedir. Bazik pomza asidik pomzaya göre daha ağırdır. Asidik pomzanın silis oranı daha yüksek olduğundan inşaat sektöründe kullanımı yaygındır. Pomza agregası içerisindeki SiO₂ oranı kayaca abrasif özellik kazandırdığından çeliği kolayca aşındırabilecek kimyasal bir yapı göstermektedir (Dikici, 2010).

Pomzanın fiziksel özellikleri Tablo 1.7’ de gösterilmektedir. Özgül kütle ile birim kütlesinin oldukça düşük, ancak porozite değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1.7. Pomzanın fiziksel özellikleri (Karakoç, 2010)

Yoğunluk	2.2 g/cm ³
Birim Kütle	450-750 kg/m ³
Porozite	%70-85
Sertlik(Mohs Skalası)	5.0-6.5
Özgül Isı	0.32 kCal/kg ⁰ C
Erime Isısı	1300 ⁰ C
Isı İletkenlik	0.12-0.70 W/mK
Isıl Genleşme	0.003-0.007 mm/m ⁰ C
Ateşe Karşı Dayanım	Yanmaz

Pomza; inşaat, kimya, tarım, tekstil sektörleri ile diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda da kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın büyük bir bölümü (%80) hafif beton agregası olarak iç piyasada tüketilmektedir (Koç, 2012).

Şahin (1996), yaptığı çalışmada; Van ili Erciş ilçesi Kocapınar yöresi hafif agregası olan pomzanın hafif beton imalatında kullanılabilirliğini incelemiştir. Sonuç olarak; bu hafif agreganın puzolanik özelliğinin olduğunu, gerek yalıtım maksatlı gerekse taşıyıcı hafif betonların imalatında kullanılabileceğini önermiştir.

Türkmen (1997), tarafından yapılan çalışmada; Van-Erciş yöresi Kocapınar mevkiinden temin edilen pomza agregasının, değişik oranlarda karıştırılması ile üretilen hafif betonların donma-çözülme dayanıklılıklarını araştırmıştır. Pomza agregasının kullanılmasıyla üretilen betonların normal betonlara göre donma-çözölmeye daha dirençli olduklarını belirtmiştir. Kontrol örnekleri ile donma-çözünmeye maruz bırakılan örneklerin birim ağırlıkları arasında kayda değer bir fark olmadığını tespit etmiştir. Taze haldeki beton karışımının çökme değerinin artmasıyla donma-çözünme dayanımının azaldığı saptanmıştır. Donma-çözünmeye maruz bırakılan beton örneklerinin elastisite modülleri biraz azalmıştır. Su emme oranları donma-çözünme olayı sonunda normal betonlara göre bir miktar artmıştır. Basınç dayanımları çimento dozajının artmasıyla artmıştır. Donma-çözünmeye maruz bırakılan örneklerin basınç dayanımları bir miktar azalmıştır. Çökme değeri belli bir değerin üzerine çıktığında donma-çözünme direnci azalmıştır.

Demir vd. (2001), yaptıkları çalışmada; Afyon yöresi killeri ile pomza kumu karışımının, tuğla üretiminde kullanımını incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, pomzanın yapı tuğlası imalatında kullanılabilirliğinin uygun olduğu belirtilmiştir. Ayrıca üretilen tuğlaların birim kütlelerinde azalma olduğu saptanmış, hafif ve yalıtım özelliğine sahip yapı malzemesi imalatında değerlendirilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Düzgün (2001), yaptığı çalışmada; Erciş(Van) ve Pasinler(Erzurum) ilçelerinden temin ettiği pomza agregası ile farklı oranlarda çelik lifli tel kullanmıştır. Üretilen hafif beton karışımlarından %25-100 oranları arasında pomza agregası kullanılmasının basınç dayanım değerinin %16-44 oranlarında düşmesine neden olmuştur. Ayrıca çelik lif ilavesinin beton örneklerin basınç dayanımını, eğilme dayanımını, çekme dayanımını, elastisite modülü ile deformasyon yapabilme kabiliyetini arttırmıştır.

Gündüz (2001), yaptığı çalışmada; pomzanın ısı yalıtım agregası olarak kullanılabilme durumunu incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, tüvenan pomza malzemesinin tavan ve çatı ısı yalıtımında başarılı bir yalıtım malzemesi olduğu gözlenmiştir.

İnel vd. (2001), yaptıkları çalışmada; pomza agregası içeren betonların refrakter olarak kullanımını incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, pomza agregasının refrakter

malzeme olması üzerinde durulmuş ve sonuçların değerlendirilmesi amacıyla reolojik testlerin de yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Tolğay vd. (2004), yaptıkları çalışmada; Nevşehir yöresi pomzasının kimyasal, fiziksel, mekanik ve jeolojik özelliklerini belirlemişler ve hafif betonda yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Üretilen beton numunelerin deney sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun bir malzeme olduğu belirtilmiştir.

Ulusoy (2004), geliştirilmiş perlit, pomza ve diyatomit ile portland çimentosu ihtiva eden monolitik refrakter malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışma yapmıştır. Bütün harmanlarda %45' in altında pişmiş porozite değerine rastlanılmamıştır.

Erdoğan ve Yaşar (2005), yaptıkları çalışmada; Nevşehir yöresi pomzasının jeolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlemişlerdir. Daha sonra uygun karışım oranlarında farklı şekil ve boyutta briketler üretmişlerdir. Üretilen briketlerin ses ve ısı yalıtım değerleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, üretilen briketlerin yapı sektöründe ısı ve ses yalıtımı sağlaması açısı ile depremsellik açısından oldukça ekonomik bir malzeme olduğu görülmüştür.

Gürkan (2006), alkali silika reaksiyonunun zararlı etkilerini azaltmak için çimento yerine mineral katkı olarak zeoliti, perlit ve pomzayı farklı oranlarda kullanmıştır. Çalışma sonucunda, perlitin genleşmeleri azaltmada zeolit ve pomza kadar etkili olmadığını tespit etmiştir. Bu nedenle çalışmanın sonraki aşamasında zeolit ve pomza kullanmıştır. Alkali silika reaksiyonunun zararlarını azaltmak amacıyla çimento yerine zeolitin ve pomzanın ayrı ayrı kullanımının birlikte kullanımından daha etkili olduğunu tespit etmiştir.

Yazıcıoğlu ve Demirel (2006), yaptıkları çalışmada; hidrasyon reaksiyonu yapabilmesi amacıyla Elazığ yöresinden temin ettikleri pomzanın, çimento inceliğinde öğütüldüğünü ve farklı ağırlık oranlarında (%5, %10, %15 ve %20) çimento ile yer değiştirme suretiyle beton karışımlar oluşturulduğunu belirtmişlerdir. Pomzanın çimento ile yer değiştirme oranının artmasıyla basınç dayanım değerlerinin şahit numuneye göre azaldığını saptamışlardır.

Binici vd. (2007), Erzurum ili Pasinler-Tımar ve Narman-Dazlak bölgelerinden temin ettikleri pomza agregalarının mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Ele alınan her iki pomzanın da çimento imalatında kullanılmasının uygun olduğu saptanmıştır. Dazlak pomzası ile imal edilen betonların basınç dayanımlarının standartlara uygun olduğu görülmüştür.

Yıldırım (2007), bims agregası (pomza taşı) kullanarak hafif beton üretmeyi ve ürettiği betonların farklı agresif ortamlardaki dayanım özelliklerini araştırmayı amaçlamıştır. Üç farklı ortam göz önüne alındığında; dozaj arttıkça ortalama basınç dayanımını ve çekme dayanımını arttırmıştır. Agresif ortamlarda ise dozajı fazla olan beton numunelerinin ortalama basınç ve çekme dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Agresif ortamlarda beton basınç ve çekme dayanımları değerlerinin zamanla artan bir dayanım kaybına uğradığını saptamıştır.

Kozak ve Ünal (2010), yaptıkları çalışmada; hafif blokların imalatında pomza ve tuf agregalarının ayrı ayrı kullanılması durumunda blok elemanların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. İmal edilen örnekler üzerinde; birim kütle, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Beton karışımlarında çimento dozajının artmasıyla beton örneklerin basınç dayanım değeri de artmıştır.

Dorum ve Yıldız (2011), mineral katkı olarak çimentoya ikame edilmek suretiyle pomzanın ve zeolitin yüksek dayanımlı betonlarda kullanılabilirliğini incelemiştir. %15 Zeolit - %0 Pomza ve %10 Zeolit - %5 Pomza ikameli betonların, yüksek dayanımlı beton imalatında kullanımının uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Sevinç (2011), yaptığı çalışmada; öğütülmüş yüksek fırın cürufu, bazaltik pomza, kolemanit ve baritin yer aldığı betonların ve harçların dayanıklılığını ve dayanımlarını incelemiştir. Kolemanit katkılı betonlarda ve harçlarda basınç, aşınma, su geçirimsizliği, donma-çözülme ve sülfat dayanımları gibi birçok özelliğine olumlu katkılarda bulunduğu deneysel olarak saptanmıştır. Ancak radyasyon soğurma değerlerinin en düşüğüne sahip olduğu belirtilmiştir. Radyasyon soğurmada en iyi değerleri barit katkılı numunelerin verdiği görülmüştür. Radyasyon soğurmada pomza ve cürufun belirli oranlarda kullanılmasının etkili olduğu gözlenmiştir.

Koç (2012), öğütülmüş pomzanın hava sürüklenmiş ve geleneksel betonlarda boşluk yapısına ve donma-çözülme dayanımına olan etkilerini incelemiştir. Hava sürükleyici katkı oranının artırılmasıyla hem hava içeriğinde hem de taze betonun yayılma çaplarında artışa neden olduğu, hava sürükleyicinin her bir oranında öğütülmüş pomza katkısı bu değerlerde azalmaya neden olduğu fakat basınç dayanım değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Standart kür koşullarında bekletilen numunelerde ultrasonik hız değerlerinde zamana bağlı olarak genel olarak bir artış olduğu görülmüştür.

Akyol (2013), yaptığı çalışmada; pomza agregası kullanılan hafif beton blok özelliklerine taneli polistiren köpük ve uçucu kül katkısının etkilerini incelemiştir. Strafor

tanesi ilaveli pomza blok numunelerde uçucu kül ikame oranının artması numunelerin basınç dayanımını arttırmıştır. Taneli polistiren köpük ilavesinin numunelerin birim ağırlık değerlerini azalttığını ve numunelerin ısı yalıtım değerlerinin artışı sağladığını gözlemiştir. Pomza agregası kullanılan hafif beton blok elemanlarda uçucu kül ikame oranının artması numunelerin basınç dayanımını arttırmıştır. Uçucu kül ilavesiyle ikincil hidratasyon reaksiyonları sonucunda daha yoğun bir içyapı oluşmasını ve mukavemet artışı sağladığı görülmüştür.

Dinçer (2013), yaptığı çalışmada; pomza, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu içeren betonların durabilite özelliklerini incelemiştir. Numunelerin 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımı, 28 günlük numunelerin permeabilite ve aşınma ile 60 günlük sülfat dayanımlarını araştırmıştır. Çalışmanın sonunda; pomzanın boşluklu bir yapıda olmasından ötürü aşınma direncinin ve basınç dayanımının azalmasına, geçirgenlik değerinin ise artmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Yüksek fırın cürufu ilavesi dayanıma ve dayanıklılığa olumlu katkı sağlamıştır. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanının beton karışımına ilave edilmesini betonun durabilitesini arttırmıştır.

Esmailzadeh (2013), mineral katkı maddesi içeren pomzalı hafif betonların değişik oranlarda sülfat çözeltisindeki özelliklerini incelemiştir. Yapılan deneylerde sülfat ortamlarında mineral katkı içeren beton numunelerin daha iyi performans gösterdiğini saptamıştır. Standart kür havuzunda tutulan numunelerin ultrases geçiş hızlarında mineral katkı türünden bağımsız olduğu ve mineral katkı içermeyen numuneler içinde benzer bir durum geçerli olduğu görülmüştür. Mineral katkıların betonun sülfat ortamında performansını artırdığını, araştırma sonucunda tespit etmiştir.

Mehrzad (2013), beton üretiminde ve inşaat mühendisliğinde yeni bir bağlayıcı madde olan geopolimerleri incelemiştir. Sabit sıcaklıkta sodyum hidroksit ile aktive edilen pomza, geopolimer üretiminde kullanılabildiğini ifade etmiştir. Tüm kür sıcaklıklarında Na_2O miktarı arttırılarak silika modülü sabit tutulduğunda basınç mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Tüm kür sıcaklıklarında Na_2O miktarı arttırılarak su/bağlayıcı oranları sabit tutulduğunda basınç mukavemeti artmıştır. Silika modülü arttıkça basınç mukavemeti de artmıştır. Geopolimerlerin basınç mukavemeti kazanmasında kür süresinin çok büyük bir etkisi olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda oluşan buharın çıkışı sağlayan çok miktarda küçük boşluklara geopolimer mikro yapısında var olduğunu belirtmiştir.

Balun ve Karataş (2015), kendiliğinden yerleşen harç üretiminde hafif agrega kullanımının dayanıma etkisini incelemiştir. Kendiliğinden yerleşen harç üretiminde dere

agregası, genleştirilmiş perlit, pomza, C sınıfı uçucu kül ve silis dumanı kullanıldığı belirtilmiştir. Pomza oranı artıkça kendiliğinden yerleşen harç örneklerinin basınç ve eğilme dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. Kendiliğinden yerleşen harç serilerinin hepsi, kendiliğinden yerleşen hafif harç olarak değerlendirilebileceği ve taşıyıcı hafif harç sınıfına dahil olabileceği ifade edilmiştir.

Bideci vd. (2015), betonun işlenebilirliğini ve su emmesini olumsuz etkileyen pomza agregasının beton içindeki performansını iyileştirmek amacıyla, farklı üç polimerle kaplamasını yapmıştır. Üretilen beton örnekler üzerinde birim ağırlık, su emme ve basınç dayanımı deneylerini uygulamışlardır. Sonuç olarak; polimerle kaplanan agregaya su geçişinin engellemesiyle beton örneğin su emme oranının polimerle kaplanmayan agregaya göre azaldığı görülmüştür.

Gönen ve Yazıcıoğlu (2015), pomza ve genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif beton imal etmiştir. Bu betonların donma-çözülme dirençleri ile kendiliğinden yerleşebilirliklerinin incelenmiştir. Pomza agregası kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif betonlar imal edilebileceği ifade edilmiştir. Donma-çözülme deneyleri sonucuna göre, agregaların hafiflemesinin kendiliğinden yerleşen hafif betonların donma-çözülme dayanıklılıklarının düşmesine neden olmuştur. Ancak birim ağırlığa düşen dayanıma göre daha verimli olduğu görülmüştür. Donma-çözülme deneyinden önce veya sonra olmasına bakılmaksızın kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımı değerinin en yüksek olduğu gözlenmiştir.

Sallı Bideci vd. (2015), yaptıkları çalışmada; hafif beton üretiminde kullanılan pomza agregalarının performansını iyileştirebilmek, sertleşmiş hafif betonun dayanıklılığını ve dayanımı artırabilmek amacıyla pomza agregası yüzeyi kontrol örneği olarak çimentoyla ve değişik oranlarda çimento-kolemanit karışımıyla kaplanan hafif beton örnekler üretmişlerdir. %12.5 kolemanit ilaveli CEM I 42.5 R çimentosu ile kaplı pomza agregalarla, basınç dayanımının yüksek, hızlı klorür geçirimsizliğinin düşük taşıyıcı özel hafif beton imal edilebileceği görülmüştür.

Yaltay (2015), pomza agregası ve kolemanit katkılı çimento ile ürettiği hafif betonun fiziksel özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Kürleme yaşı ileri yaşlarda lineer, hem kolemanit katkılı hem de katkısız numunelerde kütle soğurma katsayılarını bariz şekilde iyileştirdiği gözlenmiştir. Kolemanit katkısı özellikle ileri kür yaşlarında basınç dayanımında iyileşmeler göstermiştir. Pomza agregası ile üretilen hafif betonun kolemanit ilavesiyle lineer soğurma katsayısının arttığı, ama bu artışın doğrusal bir artış olmadığı tespit

edilmiştir. Kolemanit ya da benzer katkıları kullanılarak hafif betonun da radyasyon zırhlama özelliğinin artırılacağı sonucuna ulaşıldığı gibi, hafif betonda bile kolemanitin radyasyon zırhlama konusunda pozitif etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Engin (2016), Bitlis yöresi pomzasının mineral katkı olarak kullanılmasıyla ürettiği kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve mekanik özelliklerini araştırarak Ülkemizde rezervlerinin büyük bir kısmını oluşturan Bitlis yöresi pomzasının kullanılmasının artırılmasını amaçlamıştır. Öğütülmüş pomza tozunun puzolanik bir malzeme olmasından kaynaklı olarak yeterli dayanıma erişmesi için uzunca bir zamanın geçmesinin gerektiğini belirtmiştir.

Nevruz (2016), değişik yörelerden temin ettiği pomza agregaları ile kırma kum tamamen yer değiştirerek harç numuneleri üretmiştir. Pomza agregalarının kullanım alanlarının sadece yalıtım olmadığı, taşıyıcı eleman olarak da kullanılabileceğini ifade etmiştir. Her pomza agregasının beton için uygun olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. 28 günlük deney sonuçlarında pomza agregalı numunelerde kılcal geçirimsizlik değerleri daha yüksek değerde olmuştur. Donma – çözünme deney sonuçları açısından pomza agregalı harç numunelerinin kontrol numunelerine göre kalıcılığının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Öz vd. (2017), kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Osmaniye bazik pomzası ile işlenebilirlik arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bazik pomza ilaveli kendiliğinden yerleşen beton imalatı sabit su/bağlayıcı oranında, yüksek oranda akışkanlaştırıcı kullanılarak, sabit bir çökme akışıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kuru yüzey doygun halde kullanılan bazik pomza taze beton özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Bunun en önemli nedeninin yüzeyi çok fazla girinti ve çıkıntıya sahip olan bazik pomzanın yüksek seviyede sürtünme oluşturarak kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliğini azaltması olduğunu ifade etmişlerdir.

Yücel vd. (2017), asidik pomza kullanarak imal ettikleri kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki özelliklerini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre; kendiliğinden yerleşen beton kullanılan asidik pomza miktarı arttıkça işlenebilirliğin de arttığı gözlenmiştir. Doğal iri agreganın asidik pomza ile yer değiştirmesiyle ayrışma ve terleme olmaksızın kendiliğinden yerleşen beton üretiminin uygulanabilir olduğu görülmüştür. Asidik pomzanın düşük özgül ağırlığı ve kuru yüzey doygun halde kendiliğinden yerleşen betonda kullanılması kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.

1.5.1.2. Perlit

Asidik karakterli, doğal olarak oluşmuş volkanik bir cam olan perlit silis esaslı bir kayadır. Farklı renk ve yapıda perlit kayaları mevcuttur. Ham perlit saydam açık griden parlak siyaha kadar değişen renklere sahiptir. Şekil 1.7' de Ülkemizdeki pomza ve perlit yatakları görülmektedir. Perlit yatakları Ülkemizde en çok Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde yaygındır. Perlit agregaları Şekil 1.8' de görülmektedir.



Şekil 1.8. Perlit agregaları (URL-5)

Gökçe vd. (2010), doğal perlit agregası kullanarak değişik su/çimento ve değişik granülometrik karışımlarla imal edilen hafif betonların birim kütleleri, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları arasındaki değişimleri incelemiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre; su/çimento oranı azaldıkça ultrases geçiş hızı değeri ve basınç dayanım değerinin arttığı gözlenmiştir. Hafif beton numunelerindeki ince karışım miktarının artmasıyla ultrases geçiş değeri ve beton dayanım değerinin arttığı görülmüştür.

Khanjarkhanı (2014), sülfürik asitin (H_2SO_4) ve nitrik asitin (HNO_3) normal agrega yerine tamamı perlit agregası kullanılarak üretilen hafif betonun bazı özelliklerine etkisini incelemiştir. Karışımlarda, çimento ağırlığına göre katkı olarak iki farklı oranda silis dumanı, iki farklı oranda uçucu kül ve mineral katkısız olarak beş tür örnek üretilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre, asit çözeltilerinin mineral katkılı örnekler üzerindeki etkisi, normal örneklerle göre daha az olduğu gözlenmiştir. Sülfürik asit çözeltisindeki mineral katkısız örneklerin daha çok su emmesinden kaynaklı zamanla daha fazla asit çözeltisinin beton örneklerin içine nüfuz etmesine sebep olduğu görülmüştür.

Eser ve Turanlı (2015), yalnızca ham perlit agregası ve yüksek hacimde perlit tozu kullanılarak imal ettikleri kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı hafif betonun bazı mekanik özellikleri ile bazı kalıcılık özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, perlit tozu ve perlit agregası kullanmak suretiyle; işlenebilirliği iyi, 28. gün basınç dayanımı değeri yüksek ve klor geçirgenliği çok düşük olan taşıyıcı hafif beton imal edilebileceği görülmüştür.

1.5.1.3. Diyatomit

Diyatomit, tek hücreli bir canlı olan diyatomenin kabuklarının birikimiyle oluşan yüksek miktarda amorf silis içeren, beyaz renkte, kendi ağırlığının 2.5-3 katına kadar su emebilen, yumuşak bir kayadır (TS 9773, 1992).

Puzolan olarak çimentonun özelliklerini geliştirmek amacıyla çimento üretiminde; harçta ve betonda su içeriği fazlalığını önlemek ve homojenliği iyileştirmek, plastik özelliklerini geliştirmek maksadıyla kullanılabilir.

Kullanım alanları olarak; hafif yapı malzemesi, yalıtım malzemesi (ısı, ses, elektrik), dolgu malzemesi, filtre-yardımcı malzemesi (süzme), absorbent (soğurucu), aşındırıcı ve yüzey temizleyici, katalizör taşıyıcı, refrakter imalatı, birçok kimyasal maddelerin üretiminde silis kaynağı olarak, gübrelerde taşıyıcı ve topaklanmayı önleyici olarak, boya, plastik, kağıt, lastik, ilaç, kozmetik, kibrit ve diş macunu sayılabilir. Şekil 1.9' da diyatomit görülmektedir.



Şekil 1.9. Diyatomit (URL-6)

Ünal vd. (2003), pomza ve Afyon ili Tınaztepe yöresinden temin edilen diyatomitin hafif blok elemanı imalinde kullanımının betonun özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda diyatomitin ve pomzanın hafif blok elemanı imalinde tuğla gibi bölme

duvar elemanları yerine kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Bu yapı elemanlarının kullanılmasıyla hem ekonomiye fayda sağlanmış hem de yapının ısı yalıtım problemi çözümlenmiş olacağı ifade edilmiştir.

Uygunoğlu ve Ünal (2005b), yapılardaki sabit yükü azaltmak amacıyla Afyon yöresinde bulunan doğal bir hafif agrega olan diyatomitin betonun mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Yapılan deneylerde; diyatomit ile imal edilen hafif blok elemanların, bölme elemanı olarak yapılarda kullanılmasıyla yapının sabit yükünün azaltılmasında faydalı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uygunoğlu ve Ünal (2006), Afyon ili ve çevresinde bulunan doğal ve hafif bir agrega olan diyatomitin hafif blok imalinde agrega olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. İmal edilen hafif blok elemanlar üzerinde; birim kütle, görünen porozite, basınç dayanımı, su emme, ısı iletkenlik ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, agrega olarak diyatomitin hafif blok eleman imalinde kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

1.5.1.4. Volkanik Cüruf (Scoria)

Gözenekli ve bazik karakterli lav parçacıklarıdır. Yanardağdan çıkan lavların ilk soğuyan kısmında oluşurlar (Zandi, 2012). Şekil 1.10' de volkanik cüruf görülmektedir.



Şekil 1.10. Volkanik cüruf

Demirdağ ve Gündüz (2003), volkanik cüruf agregaların TS ve ASTM standartlarına göre uygunluklarını araştırmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde Manisa ili Salihli ve Kula ilçeleri çevresinden elde edilen volkanik cüruf agregaların, inşaat sektöründe hafif beton

agregası (kırmataş agregası) ile hafif yapı elemanı blok olarak kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Demirdağ vd. (2004), Manisa ili Salihli ve Kula ilçeleri çevresinden elde edilen volkanik cüruf agregaların, yapı sektöründe hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği üzerine çeşitli deneysel çalışmalar yapmıştır. Beton örnekler üzerinde dayanım, su emme, birim ağırlık vb. deneylerin yapılmıştır. Volkanik cüruflar kullanılarak üretilen beton örneklerin dayanımları ve birim ağırlıkları, blok imali için kullanılan standartlara uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında kullanılan volkanik cürufların, inşaat sektöründe hafif yapı malzemesi ve hafif yapı elemanı üretimi için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

1.5.1.5. Tüfler

Esas itibariyle volkanik bir kayaç olan tüfler ayrıştıklarından ötürü tortul kayaçlar sınıfına girebilmektedir. Tamamıyla volkanik veya tortul tüfler mevcuttur. İnşaat sektöründe taşıyıcı, yarı taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan hafif beton üretimi ile dış cephe kaplamalarında kullanılmaktadır (Zandi, 2012).

Tanecik çapı 2-3 mm' den büyük olanlara tuf, küçük olanına tüfit denir. Tüfit ve tuf silisli, açık renkli volkanik bir camdır (Uygunoğlu, 2008). Şekil 1.11' de tuf görülmektedir.



Şekil 1.11. Tuf (URL-7)

Bekar vd. (2006), Aksaray yöresi volkanik tufünün sıva harcı olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Yapılan çalışmada, TS 2717' ye ve TS 4919' a göre Aksaray yöresi tuf örneklerinin sıva harcı olarak kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

1.5.2. Yapay Hafif Agregalar

Isıtma veya sinterleşme işlemleri sonucunda üretilen doğal ya da yapay kaynağı olan; geliştirilmiş kil, geliştirilmiş arduvaz, geliştirilmiş şist, geliştirilmiş vermikülit, opsiden, styrofor, geliştirilmiş perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, geliştirilmiş yüksek fırın cürufu ve kızdırılmış uçucu kül gibi agregalardır.

1.5.2.1. Genleştirilmiş Perlit

Doğal bir kaya olan perlit öğütme ve boyutlandırma işlemlerinden sonra ön ısıtmaya tabi tutulur. Ardından 750-1200 °C arasında aniden ısıtılması sonucunda bünyesinden ayrılan buharın etkisiyle genişler ve köpük agregasına dönüşür. Tek başlarına yalıtım betonu üretiminde kullanılmaktadır (Zandi, 2012).

Perlit agregalı hafif yalıtım betonu, ısı ve ses yalıtıcı olarak yüzey döşemelerinde, perlit agregalı hafif yapı elemanları, tavan kiremitleri, boru ızalasyonları, çimento ve alçı dışında yer alan bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları imalatında kullanılmaktadır (Kaldı, 2011). Şekil 1.12' de geliştirilmiş perlit agregaları görülmektedir.



Şekil 1.12. Genleştirilmiş perlit agregaları

Gündüz vd. (2006), genişmiş perlit ve pomza katkılı bimsbeton numuneleri üzerinde araştırma yapmıştır. Bimsbeton harçlarından elde edilmiş boşluklu duvar hafif blok elemanlarının test sonuçlarını analiz etmiştir. Sonuç olarak, genişmiş perlit katkısının, bimsbeton blok imali açısından önemli faydalar sağlayacak olduğu görülmüştür.

Gökçe (2010), hafif beton üretiminde perlit agregasının kullanılabilirliğini araştırmıştır. Farklı agrega karışımı ve geliştirilmiş perlit agregası kullanımının hafif

betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Betonların silis dumanı ikamesi ve kür süresiyle paralel olarak basınç dayanımlarında önemli artışlar gözlenmiştir. Genleştirilmiş perlit kullanımı ile su emme değerlerinin arttığı, silis dumanı kullanım oranının artışı ile azaldığı sonucuna varılmıştır.

Kalaycı (2016), perlit esaslı ısı yalıtım malzemesi imal etmeyi amaçlamıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre imal edilen perlit esaslı yalıtım malzemesi ısı yalıtımında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Engin (2018), katkı maddeleri ve genleştirilmiş perlit agregası kullanarak ısı yalıtım özelliği kazandırılmış ultra hafif betonlar (P05 genleştirilmiş ham perlit agregası ile yapılan deneylerin sonuçlarına göre birim kütleleri 150-475 kg/m³ aralığında değişmektedir.) imal etmiştir. Kuru birim kütlenin artmasıyla ısı iletim katsayısının da artmakta olduğu gözlenmiştir. Kullanılan hava sürükleyici katkı maddesi miktarının artmasıyla buna bağlı olarak birim kütle azalmıştır. Fakat kullanılan hava sürükleyici katkı maddesi miktarının artmasıyla düzenli olarak birim kütle azalmamıştır. Deney numunelerinde lif kullanımının çökmeye sebep olmuştur. Donma-çözülme deneyi sonrasında beton numunelerinin hem basınç dayanımında hem de kütlesinde azalma meydana gelmiştir.

1.5.2.2. Genleştirilmiş Kil

Yüksek sıcaklığa (1000-1200 °C) maruz kalan kiler genişerek boşluklu bir yapıya sahip olmaktadır. Böylece düşük birim hacme sahip hafif beton üretiminde kullanılacak formda hafif agregalar üretilmektedir. Hafif agregalar içinde genleştirilmiş kiler en büyük basınç mukavemeti değerine sahiptir. Şekil 1.13' de genleştirilmiş kil agregaları görülmektedir.



Şekil 1.13. Genleştirilmiş kil agregaları (Gündüz, Şapcı, Bekar ve Yorgun, 2006)

Gündüz vd. (2006), genleştirilmiş kil agregasının yapı sektöründe kullanımının uygunluğunu araştırmıştır. Yapılan çalışmada, genleştirilmiş kil agregasının ısı yalıtımı malzemesi ile hafif beton ve hafif yapı elemanı olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Subaşı (2009), genleştirilmiş kil agregasının imento miktarının değiştirilmesiyle hafif beton üretiminde kullanılabilirliği ile betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan deneylerde, 450 kg/m³ imento dozajı içeren genleştirilmiş kil agregalı hafif betonların basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Genleştirilmiş kil agregasıyla imal edilen hafif beton numuneleri ile 41,27 MPa basınç dayanımına ulaşılabileceği görülmüştür.

1.5.2.3. Genleştirilmiş Vermikülit

Doğal haliyle bir mika minerali olan vermikülitin eğilebilen yumuşak bir yapısı vardır. 650-1000 °C arasında ısıtılarak genleşirler ve hafif agrega imalatına elverişli duruma gelirler. şekil 1.14' de genleştirilmiş vermikülit agregaları görülmektedir.



şekil 1.14. Genleştirilmiş vermikülit agregaları

Akol (2010), hafif beton üretiminde genleştirilmiş vermikülitin hafif agrega olarak kullanımını incelemiştir. Bu amaçla imento/vermikülit oranı hacimsel olarak 1/3, 1/4, 1/5 ve 1/6 olan hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışını araştırmıştır. Ülkemizde kullanım alanı dar olan genleştirilmiş vermikülitin özellikle yangına dayanıklı malzeme imalatında hafif agrega olarak ve ısı yalıtım malzemesi olarak da kullanılabilir olduğu yapılan deneyler sonunda ortaya konmuştur.

1.5.2.4. Yüksek Fırın Cürufu

Potalarda eritilen tamamen saf olmayan metaller zamanla yoğunluklarına bağlı olarak hafif olanlar yüzeyde birikerek havayla etkileşip oksitlenmesi sonucunda metal küfü olarak da isimlendirilen cüruf oluşur. Çimento imalatında, kordon ve seramik yapımında kullanılmaktadır (Mehrzağ, 2013). Şekil 1.15’ de yüksek fırın cürufu görölmektedir.



Şekil 1.15. Yüksek fırın cürufu

Koluçolak (2012), yüksek fırın cürufu ve granüle bazaltik pomza tek başlarına ve eşit miktarlarda her ikisinden kullanılmasıyla birlikte, çeşitli oranlarda kum yerine ağırlıkça kullanmış ve bu karışımlardan elde ettiği beton boruların dayanımlarını ve dayanıklılıklarını incelemiştir. Bunun yanı sıra bu boruların permeabilite özellikleri ve sülfat dirençlerini de araştırmıştır. Beton borularda pomza katkısı kullanımıyla boru ağırlığı normalden azalmıştır. Yüksek fırın cürufu ve pomza katkısının beton boru ve beton özellikleri üzerinde iyileştirici etkiler yapmıştır. Yüksek fırın cürufu katkısının özellikle yüksek oranda kullanımı hem tepe yükü basıncını hem de su geçirimsizliği, kılcal su emme, aşınma gibi birçok belirleyici özellik üzerinde olumlu sonuçlar vermiştir.

Topçu vd. (2015), beton dayanımını arttırmak amacıyla kullanılan öğütölmüş yüksek fırın cürufu katkılı beton örneklere yüksek sıcaklık uygulandıktan sonra mekanik ve fiziksel özelliklerinde oluşan değişiklikleri incelemiştir. %30 oranında yüksek fırın cürufu kullanımını en iyi sonuçları vermiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan ortamlarda kendiliğinden yerleşen harç ya da beton kullanılması halinde yüksek fırın cürufu kullanılmasını tavsiye etmiştir.

1.5.2.5. Uçucu Kül

Elektrik enerjisi elde etmek için termik santrallerin çoğunda yakıt olarak kullanılan pülverize kömürün yanmasıyla çok ince (uçucu kül) ve nispeten iri (taban külü) boyutta kül tanecikleri oluşmaktadır. Uçucu küllerin büyük bir bölümü amorf durumdadır. Beton karışımının içine %15-50 oranlarında katkı maddesi olarak katılabilmektedir (Mehrzağ, 2013). Şekil 1.16' de uçucu kül görülmektedir.



Şekil 1.16. Uçucu kül

Ünal ve Uygunoğlu (2004), uçucu kül katkılı betonların donma-çözünme etkisi altında mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Çimento yerine ağırlıkça %10 ve %20 oranında uçucu kül katkısının kullanılması betonda herhangi bir olumsuzluğa yol açmamıştır. Atık bir malzeme olan uçucu külün betonda kullanılması ekonomiye yarar sağlayacağı ifade etmiştir.

Sönmez (2005), kür şartlarının hafif betonun mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Kür süreleri arttıkça bütün beton serilerinin dayanım özellikleri de artmıştır. Hafif agrega ile üretilen betonlarda kullanılan katkının niteliği değiştikçe ses üstü geçiş hızları da değişmiştir. Silis dumanı eklenen hafif betonların ses üstü geçiş hızlarının daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Su kürüne tabi tutulan beton serilerinin ses üstü geçiş hızları diğer serilere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aynı beton serileri için su küründe bekletilen beton serileri diğer kür koşullarında bekletilen beton serilerine göre daha yüksek basınç dayanımı sergiledikleri saptanmıştır. Bütün serilerin yarma dayanımları zamanla artmıştır. Aynı kür şartlarında en yüksek dayanımı silis dumanı katkılı beton serilerinde, en düşük dayanımı uçucu kül katkılı beton serilerinde olduğu görülmüştür.

Koçkal ve Özturan (2007), farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş hafif uçucu kül agregalarının mikro yapılarının ve bazı özelliklerini araştırmıştır. Yapılan deneylerde, sinterleme sıcaklığı azaldıkça agregaların kırılma dayanımlarının ve özgül ağırlıklarının azaldığı, su emme yüzdelerinin arttığı gözlenmiştir. Yapılan mikroyapı incelemelerinde, sinterleme sıcaklığının yükselmesiyle suyun ulaşabileceği boşluk miktarının azaldığı ve bu boşlukların bağlantısız, süreksiz ve yalıtılmış olduğu görülmüştür.

Ulusoy A. (2008), bazaltik pomza ve atık bir malzeme olan uçucu-tekstil külünün yüksek kalitede pişirilmiş kil tuğlaların imalatında katkı olabilirliğini araştırmıştır. Tekstil külü ile bazaltik pomzanın ikisi ve tespit edilen oranda uçucu külün uygun katkıları olduğu, pişmiş tuğla imalatında faydalı bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Güçlüer (2011), uçucu külün silis kumu yerine ve silis dumanının çimentoya çeşitli oranlarında ikame edilmesiyle gazbeton örneklerini üretmiştir. Silis dumanı ikameli serilerde, kontrol karışımına göre basınç dayanımlarında artma, birim kütlede ise azalma görülmüştür. Seyitömer Termik Santrali silis dumanının ve uçucu külünün gazbeton üretiminde kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Erdoğan vd. (2015), uçucu külün çimento yerine ikame edilmesinin betonun duraylılık özelliklerine etkisini araştırmıştır. Artan oranlarda uçucu kül ikamesinin basınç dayanımını olumsuz etkilemesine rağmen klor geçirimsizliğinde bariz bir azalma sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca su işleme derinliği ve kılcal su emme değerlerinde azalma sağladığı görülmüştür.

Şahin vd. (2015), Afşin Elbistan uçucu külü ve Yüksek Fırın Cürufunu karıştırarak oluşan karışımın oda sıcaklığı ile 80 °C sıcaklıkta kür işlemiyle dayanım gelişimini araştırmıştır. Fabrika imali kimyasallar kullanılmadan, kimyasal yapısı uygun uçucu küller ile yüksek fırın cürufu karıştırmak suretiyle düşük ve orta dayanımlı harçlar ve betonlar üretmenin mümkün olabileceği gözlenmiştir. Bu tür karışımların düşük yüklere maruz kalan uygulamalar için kullanılmasının uygun olabileceğini ifade etmiştir.

Bursa (2017), hafif agrega ve hafif betonun Seyitömer Termik Santrali uçucu küllerinden üretilmesini planlamıştır. İmal edilen hafif betonların basınç ve eğilme dayanımları incelendiğinde taşıyıcı hafif beton olma özelliklerini barındırmadığı gözlenmiştir. Ancak, hafif olmaları nedeniyle yapıların taşıyıcı olmayan kısımlarında kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır. Üretilen hafif betonlar gaz beton, şap beton ve alçıpan yerine veyahut yağma yapılarda blok elemanı veya duvar olarak kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir.

1.5.2.6. Silis Dumanı

Silis dumanı silisyum ve silisyum alaşımlarının imalatı aşamasında elektrik ark fırınlarında indirgenme reaksiyonları sonucunda oluşur ve baca gazlarından elde edilir. %90-95 amorf silis içeren silis dumanı beton ve çimento katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Silis dumanı betonun dayanımı ile su gereksinimini artırır ve su geçirimsizliğine olumlu katkı sağlar (Yegin, 2009). Şekil 1.17’ de silis dumanı görülmektedir.



Şekil 1.17. Silis dumanı

Tablo 1.8’ da silis dumanı incelik değerleri incelendiğinde portland çimentosuna oranla oldukça ince olduğu görülmektedir.

Tablo 1.8. Silis dumanı incelik değerinin karşılaştırılması (Ay, 2010)

Malzeme	İncelik (cm ² /g)
Silis Dumanı	200000
Tütün Külü	100000
Uçucu Kül	4000-7000
Portland Çimentosu	3000

Topçu ve Canbaz (2004), üç farklı oranda silis dumanı içeren, iki farklı cins çimento ile süper akışkanlaştırıcı kullanılan beton örnekler üretmiştir. Bu betonlar üzerinde su emme ile donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Silis dumanı katkı kullanımı betonların basınç dayanımlarını ve dinamik elastisite modüllerini artırırken, su emme değerleri düşürmüştür.

Silis dumanı katkılı beton örnekler katkısız örneklere göre; donma-çözünme etkisinin daha az olduğu, oluşan mikro çatlakların ise dallanarak değil de tekil olduğu gözlenmiştir.

Mukhlif (2013), volkanik pomza tozunun silis dumanı içeren ve içermeyen kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş halde bulunan bu betonların özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Silis dumanı ilavesinin, kendiliğinden yerleşen betonların sertleşmiş özelliklerinde volkanik pomza tozu kullanımından kaynaklanan olumsuz etkiyi giderdiği gözlenmiştir. Çimentonun volkanik pomza tozu ikamesinin, kendiliğinden yerleşen beton imalatında herhangi bir segregasyon olmaksızın uygulanabilir olduğu görülmüştür. Volkanik pomza tozu oranının artmasıyla betonun basınç dayanımında sistematik bir azalma olduğunu belirtmiştir.

Tohumcu ve Bingöl (2013), çimento yerine kütlece değişik oranlarda mineral katkı maddesi olarak silis dumanı ve değişik oranlarda uçucu kül kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton imal etmiştir. Beton numunelerin taze beton özellikleriyle sertleşmiş beton numunelerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Silis dumanı katkısı beton numunelerde basınç dayanım değerlerinde artışa neden olurken uçucu kül ilaveli beton numunelerde dayanım azalmaları saptanmıştır. %15 oranında silis dumanı kullanılarak imal edilen beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı değerinin 88 MPa olarak elde edilmiştir.

1.5.3. Organik Kökenli Hafif Agregalar

Doğal halde toprağa bırakılan organik ürünler ile bitki kalıntıları organik atık olarak değerlendirilmektedir. Bunlar çoğunlukla toprağa terk edilerek doğal gübre olmaktadır. Fakat bitkisel atıkların genellikle yakılması toprak kirliliği ve önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu bitkisel atıkların yapılan çalışmalarla hafif beton üretiminde hafif agrega olarak değerlendirilmeye başlanmasıyla hafif betonun üretim maliyetini düşürebileceği gibi çevre için önemli bir sorunu da ortadan kaldırabileceği düşünülmektedir. Şekil 1.18' de organik kökenli agrega örnekleri görülmektedir.



Şekil 1.18. Organik kökenli agrega örnekleri a) Hızır talaşı b) Çeltik Kavuzu

Hızır talaşı, ağaç yongası ve lifleri, pirinç kabuğu külü, hububat taneleri ve meyve çekirdekleri vb. organik kökenli ürünler hafif agrega olarak sayılabilir.

Yıldız vd. (2007); çimentonun ağırlığına değişik oranlarında yakılmış pirinç kabuğu külü betona katılıp, üretilen beton örneklerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımlarını incelemiştir. Kullanılan pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivitesini araştırmıştır. Deneysel çalışmaya göre; %10 pirinç kabuğu külü ihtiva eden beton örneklerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Fakat pirinç kabuğu külünün su emme kapasitesinin yüksek olmasından ötürü %10' dan fazla pirinç kabuğu külü ilaveli beton örneklerinin basınç ve eğilmede çekme dayanım değerlerinde azalma olduğu görülmüştür.

Akçakale (2010), bims tozu ve bazaltik pomza içeren hafif betonun dayanıklılık özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada kurutulmuş portakal kabuğu, odun talaşı ve uçucu kül gibi katkıları eklenerek üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda numunelerin dayanım değerleri “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Olan Binalar Hakkında Yönetmelik” te belirtilen C20 sınıfı beton değerinin altında kalmasından ötürü taşıyıcı elemanların betonu için kullanılamayacağı kanaatine varılmıştır. Kurutulmuş portakal kabuğu, odun talaşı ve uçucu kül gibi atık maddelerin pomzayla birlikte kullanılması durumunda hem iyi yalıtım özelliklerine sahip malzeme üretilmesi sağlanmış hem de bu atık ürünler ekonomiye kazandırılmış olacağı ifade edilmiştir.

Yanar (2010), lignoselülozik talaş ilaveli hafif betonun işlenebilirlik, dayanım ve yalıtım özelliklerini incelemiştir. Çalışmada buğday sapı, ayçiçeği sapı, mısır sapı ve talaşları ile kayısı çekirdeği kabuğunun kırıntısı kullanılmıştır. Deney sonuçlarında, lignoselülozik katkılarının, numunelerin işlenebilirlik, ısı ve ses yalıtımı özelliklerine olumlu katkı sağladığı saptanmıştır. Ayçiçeği sapı talaşı ilavesinin basınç dayanımını

arttırdığı saptanmıştır. Karışımın işlenebilirliğine ayçiçeği sapı talaşının olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir. Mısır sapı talaşı ilavesinin numunenin basınç dayanımı kazanmasını engellediği görülmüştür. Bölme panel üretiminde ayçiçeği sapı talaşı ilaveli numuneler kullanılabileceği ifade edilmiştir. Lignoselülozik ilavesinin ses izolasyonuna olumlu etki sağladığı gözlenmiştir.

Görhan ve Şimşek (2011), puzolanik özellik gösteren ve mineral bir katkı olan pirinç kabuğu külünün betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini incelemiştir. Pirinç kabuğu külünün beton örneklerin basınç dayanımını arttırmakla birlikte klor difüzyonunu, sorptivitesini, su emme katsayısını ve slump değerini azalttığı gözlenmiştir.

Aktürk vd. (2015), yüksek sıcaklığa maruz kalacak olan betonda polipropilen lifler yerine pirinç kabuğunun kullanılması ile tarımsal bir atığın değerlendirilmesi amaçlamıştır. Bazalt agrega ile polipropilen lif ve pirinç kabuğu katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisinde açığa çıkan CO (karbonmonoksit) ve CO₂ (karbondioksit) gazlarının miktarları ile mekanik özelliklerinin kıyaslamıştır. Sürdürülebilir malzemelerden biri olan pirinç kabuğunun mekanik özelliklerde az miktarda azalmaya sebep olmakla birlikte, polipropilen liflere kıyasla daha az miktarda zararlı gaz açığa çıkardığı ve belli oranlarda beton üretiminde polipropilen lifler yerine kullanılabileceği neticesine varılmıştır.

1.6. Hafif Beton Üretim Yöntemleri

Özkul ve arkadaşları hafif beton üretim yöntemlerini aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- Hafif betonlar hafif agrega kullanarak,
- Köpük katkıları, hava kabarcığı ve gaz üreten katkıları kullanarak,
- Betonun ince agregalarını çıkararak üretilen kumsuz betonlar (Özkul , Taşdemir, Tokyay ve Uyan, 2004).

1.7. Hafif Betonun Normal Betona Göre Üstünlükleri

Birim hacimdeki toplam malzeme kütlelerinin azalmasından dolayı beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme rahatlıkla yapılabilir. Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yükleri azalır. Bu azalma sonucunda yapı temellerinde ve eğilmeye maruz elemanlarda donatıda ekonomi sağlarlar. Birim kütlelerinin

azalmasından ötürü temel boyutları da azalır. Standart betona göre on kat daha hafiftir. Bu özelliğiyle binanın depreme karşı daha dirençli olmasını sağlar. Isı ve ses yalıtımları daha iyidir. Yangın bakımından da normal betona göre daha avantajlıdır. Homojen dağılım gösterirler. Binaya verdiği hafiflik ile binanın depreme karşı daha dirençli olmasını sağlar. Hızlı ve kolay uygulanır (Shoaei, 2013).

1.8. Hafif Betonun Normal Betona Göre Sakıncaları

Boşluklu olmaları nedeni ile mukavemetleri daha düşüktür. Aşınmaya karşı dayanımları düşüktür. Rutubete karşı yalıtılmaları gereklidir. Hafif agregaların temin edilmeleri daha zordur. Her yerde bulunmazlar ve üretilemezler. Bundan ötürü maliyetleri yüksektir. Sünme ve rötre değerleri daha yüksektir (Shoaei, 2013).

Ayrıca elastisite modüllerinin düşük olmasından kaynaklı taşıyıcı hafif betonla imal edilmiş kirişlerde sehim ve dönme değerleri daha yüksektir. Normal betona göre daha fazla çimento dozajı gerektirir. Bu durum da maliyetin artmasına neden olur. Kesme ve kayma dayanımları normal betona göre daha düşüktür. Üretimleri ve yerine uygulanmaları daha nitelikli ve özenli işçilik gerektirir. Bu da emeğin ve maliyetin daha fazla olmasını gerektirir (Dikici, 2010).

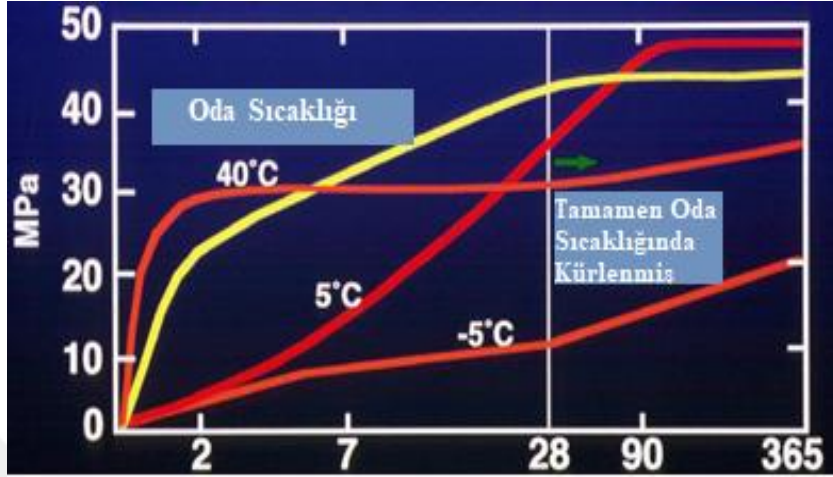
1.9. Soğuk Havada Beton Üretimi

Art arda üç gün süreyle günlük ortalama sıcaklığın $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' in altında olduğu hava şartları beton dökümü açısından soğuk hava olarak tanımlanmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).

“Günlük Ortalama Hava Sıcaklığı” bir gece yarısından 24 saat sonraki gece yarısına kadarki süre zarfında en yüksek ve en düşük hava sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır (Erdoğan, 2013).

Hava sıcaklık değeri $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' in altında olursa betonun basınç dayanımında kayda değer bir azalma olduğu gözlenir. Son mukavemet değerinin düşük ısıda değişmemesiyle birlikte bu mukavemet değerine ulaşılması çok zaman alır. Soğuk havalarda taze beton yerleştirildikten sonra taze betonun donma tehlikesiyle karşılaşması muhtemeldir (Güner ve Süme, 2000).

Şekil 1.19' da beton sıcaklığı-dayanım gelişimi grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde +5 °C' ın altındaki hava şartlarında betonun dayanımının oldukça düşük olduğu, ileriki yaşlarda bile iyi bir dayanım sergileyemediği görülmektedir.



Şekil 1.19. Beton sıcaklığı-dayanım gelişimi grafiği (URL-8)

Şekil 1.20' de soğuk havada beton dökümü görülmektedir.



Şekil 1.20. Soğuk havada beton dökümü

Tablo 1.9' da taze betonun çeşitli standartlara göre en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri belirtilmiştir. Her ne kadar yönetmelik şartları taze betonun en düşük sıcaklığını +5 °C olarak belirtse de uygulamada taze betonun en düşük sıcaklığının +10 °C' nin altında olması istenmez.

Tablo 1.9. Taze betonun en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri

Standart	Taze Beton Sıcaklığı (°C)	
	En Düşük	En Yüksek
TS EN 206-1	+5	-
TS 1248	+5	+30
TS 13515	+5	+35

Taze betonun farklı sıcaklıklardaki priz süreleri Tablo 1.10’ de gösterilmektedir. Beton sıcaklığının düşmesi ile priz süresinin arttığı, -7 °C’de prizin gerçekleşmediği görülmektedir.

Tablo 1.10. Taze betonun farklı sıcaklıklardaki priz süresi

Beton Sıcaklığı (°C)	21	16	10	4	-1	-7
Yaklaşık Katılma(Priz) Süresi (saat)	6	8	11	14	19	Gerçekleşmez

1.9.1. Soğuk Havanın Betonun Özelliklerine Etkisi

Soğuk hava koşullarında imal edilen ve yerine yerleştirilen betonlar için gerekli önlemler alınmadığı takdirde aşağıdaki olumsuzluklarla karşılaşmaktadır:

- Taze betonun soğuk hava koşullarında priz alma süresi normal sıcaklık koşullarındaki taze betonun priz alma süresine göre daha fazladır. Taze betonun dayanım kazanma hızı ise daha yavaş gerçekleşmektedir.
- Taze betonun prizini almadan ya da yeterli dayanımı kazanmadan taze betonun bünyesindeki suyun bir kez dahi donması betonun mukavemetini ve duraylılığını önemli ölçüde azaltmaktadır.
- Çevre sıcaklığı ile yerine yerleştirilen taze betonun sıcaklığı arasındaki farkın büyük olması durumunda betonda gerilmeler meydana gelmektedir. Bu durumda betonda çatlaklar oluşmaktadır (Erdoğan, 2013).

Taze betonun sıcaklığının 0 °C’ nin altına inmesi durumunda betonda don tehlikesi baş gösterir. Bu da taze beton için istenmeyen bir durumdur.

Pratikte taze betonun don etkisinden önce dayanımının 4 MPa’ dan fazla olması durumunda betonun don etkisinden kaynaklı önemli bir hasar görmeyeceği kabulü vardır.

Don olayının beton prizinden önce mi yoksa sonra mı olduğu don etkisinin taze betonda oluşturduğu hasar açısından önemlidir (Yalçın ve Gürü, 2006).

- Taze haldeki beton prizini almadan önce don olayı gerçekleşmişse, betonun boşluklarında hidrasyon tepkimelerinde kullanılacak olan su donar. Plastik kıvamdaki taze betonda oluşan genişleme betonu çatlatmaz. Ancak suyun donmasından ötürü hidrasyon tepkimeleri durur. Beton boşluklarındaki donan su (buz) çözüldüğünde hidrasyon tepkimeleri yeniden başlar. Ancak buzun beton içinde oluşturmuş olduğu boşluklar kalır. Bu betonlar düşük mukavemetli ve boşluklu olur.
- Taze haldeki beton prizini aldıktan ve henüz yeterli dayanımı kazanmadan don olayı gerçekleşmişse, kılcal boşluklarda yer alan suyun donarak genişmesi sonucunda henüz yeterli dayanımı kazanmamış olan beton çatlar.
- Taze haldeki beton yeterli dayanımı kazandıktan sonra don olayı gerçekleşmişse, bu durumda betonun boşluklarında daha az su bulunur ve bu suyun donması sonucunda meydana gelen genişleme betonu parçalamak için yetersizdir (Yalçın ve Gürü, 2006).

1.9.2. Soğuk Hava Koşullarında Üretilecek Beton İçin Öneriler

Soğuk hava koşullarında üretilecek betonlar için aşağıdaki önlemler alınarak bu koşulların beton üzerindeki olumsuzlukları azaltılabilir.

- Betonu oluşturan malzemeler ısıtılır. Böylece beton karışımının sıcaklığı artırılmış olur.
- Betonun erken dayanımını yükseltecek özellikte priz (katılaşma) hızlandırıcı çimento ve/veya katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- Soğuk hava koşullarında üretilecek betonların korunması için uygun kalıp ve yalıtım malzemelerinin kullanılması ve/veya uygun kür yönteminin uygulanması gereklidir.
- Beton dökümünden önce iyi bir planlama ve hazırlık yapılmalıdır.
- Soğuk hava koşullarında üretilecek betonlar uygun süre kür edilmelidir (Erdoğan, 2013).
- Su azaltıcı kimyasal katkı maddeleri kullanılabilir.
- Beton antifrizi kullanılabilir.
- Günün sıcak saatlerinde döküm yapılmalıdır.

Şekil 1.21' de soğuk havada beton üretiminde alınacak bazı önlemlerden olan yalıtımlı kalıp kullanımı, poletilen naylon kullanımı ve ısıtıcı kullanımı yer almaktadır.



Şekil 1.21. Soğuk havada beton üretiminde alınacak bazı önlemler (URL-8) a) Yalıtımlı kalıplar b) Isıtma c) Polietilen naylon

Uygunoğlu ve Ünal (2005a), betonlardaki buzun beton örnekler üzerindeki etkileri ve beton örneklerin donmuş haldeki mekanik özelliklerini incelemiştir. Donmuş örnekler üzerinde basınç dayanımı, schmidt çekici okumaları ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, betondaki değişik boyutlarda yer alan boşluklarda bulunan suyun donması neticesinde erken yaşlarda betonun özelliklerini iyileştiği fakat daha sonraki yaşlarda basınç dayanımı açısından önemli bir etki meydana getirmediği görülmüştür. Fakat her ne kadar betonun içinde değişik yollarla girmiş olan suyun donması neticesinde oluşan buz, betona dayanım kazandırmış olmasına rağmen buzun çözülmesiyle beton içinde boşluklar oluşacağı belirtilmiştir. Donma-çözülme işlemi birkaç defa tekrarlanması sonrasında betonda çatlamlar, parçalanmalar ve ayrışmalar görülmüştür.

Canbaz vd. (2018), soğuk hava koşullarında hızlı priz alabilen beton üretilmesi amaçlanmıştır. Bunun için elektriksel direnç kullanmak suretiyle betonun içeriden ısıtılması ve bu sayede betonun prizini hızlıca tamamlaması sağlanmıştır. Örnekler üzerinde yapılan testler sonucunda betonun basınç dayanımı, birim kütlesi, ultrases geçiş hızı ve su emme değerleri hesaplanmıştır. Çok düşük sıcaklıklarda bile elektrik direnci kullanılarak ısıtma sayesinde beton örneklerin prizini tamamlaması ile beton örneklerin özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir.

Çelikten ve Canbaz (2018), raylı sistemlerin vazgeçilmez unsurlarından biri olan sanat yapılarının üretimi sırasında çoğu kez maruz kaldığı aşırı soğuk hava koşullarının beton üretimine etkisini incelemiştir. Bu sanat yapılarının imalinde bağlayıcı malzeme olarak hızlı dayanım kazanma özelliği olan kalsiyum alüminatlı çimentolar tercih edilmiş ve -15 °C’ de beton imalatı yapılmıştır. İmal edilen beton örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, kalsiyum alüminatlı çimentoların çok soğuk hava koşullarında ve az zamanda yeterli dayanım kazanması beklenen sanat yapılarında kullanılabileceği görülmüştür.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, agrega olarak pomza kullanımının taze haldeki hafif betonların soğuk hava şartlarındaki fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemektir. Bu amaçla, hazırlanan beton örnekler antifriz katkısız ve katkılı olarak 10 cm çapında ve 20 cm boyunda silindirik örnek şeklinde üretilmiştir. Hazırlanan örnekler antifriz katkı durumuna göre iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup 0 °C, -5 °C, -10 °C 'de iki gün boyunca taze halde don etkisine maruz bırakılmıştır. İki günün bitiminde oda sıcaklığında bir gün bekletilen beton örnekler kalıptan çıkartılmıştır. Beton örnekler 28 güne kadar su kürüne tabi tutulmuştur. İkinci grup normal üretim koşullarına maruz kalmıştır. Taze halde soğuk hava koşullarına maruz bırakılan beton örnekler, nihai dayanımlarını kazandıktan sonra bu örnekler üzerinde; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, görünür yoğunluk, görünür boşluk oranı, kılcal su emme, kapilerite, basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite), aşınma gibi mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiştir.

2.1. Materyal

Yapılan çalışmada beton üretiminde Bitlis ilinden temin edilen pomza agregası, CEM I 42.5 R türü çimento, Gümüşhane şehir şebeke suyu ve beton antifrizi kullanılmıştır.

2.1.1. Agregası (Pomza)

Yapılan çalışmada üç agrega gruplarından (0-4, 4-11.2, 11.2-22.4), Bitlis ilinden tedarik edilen pomza agregası kullanılmıştır. Şekil 2.1' de kullanılan pomza agregalarının eleme işlemi ve işlem sonunda beton karışımında kullanılan üç farklı grup pomza agregası görülmektedir.



Şekil 2.1. Pomza agregalarının eleme işlemi

TS EN 1097-3 ve TS EN 1097-6 standartlarından yararlanarak pomza agregasına ait fiziksel özellikler (su emme oranı, gevşek birim kütle, kuru özgül kütle) belirlenmiş ve Tablo 2.1.' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Pomza agregasına ait fiziksel özellikler

Agrega grubu (mm)	Fiziksel Özellikler		
	Su emme oranı (%)	Gevşek birim kütle (kg/dm ³)	Kuru özgül kütle (kg/dm ³)
0-4	41.5	0.44	0.98
4-11.2	40.6	0.40	0.81
11.2-22.4	55.4	0.27	0.64

2.1.2. Çimento

Üretilen beton örneklerde CEM I 42.5 R türü çimento hidrolik bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Çimento, Gümüşhane il merkezinde bulunan Aşkale Çimento Fabrikası'ndan tedarik edilmiştir. Tablo 2.2' de çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al ₂ O ₃	4.48	Yoğunluk (g/cm ³)	3.1
Fe ₂ O ₃	3.09	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saat-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu(saat-dk)	3saat-11dk
SO ₃	2.84	Hacim Genişlemesi(mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5
Na ₂ O	0.21		
K ₂ O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı(N/mm ²)	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

2.1.3. Beton Antifrizi

Kullanılan beton antifrizi, TS 11746 ve ASTM C-494 standartlarına uygun olan kimyasal katkıdır. Katkı olarak kullanılan beton antifrizine ait özellikler Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Beton antifrizinin özellikleri

Özellikler	
Yoğunluk	1.25 ± 0.03 kg/L
pH	6.00 – 6.50
Klorür	≤ %0.1 (TS EN 480–10)
Alkali İçeriği	≤ %10 (TS EN 480–12)

2.1.4. Karışım Suyu

Çalışma kapsamında Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Çalışmada, üretilen beton örnekler antifriz katkısız ve katkılı olarak iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup iki gün boyunca taze halde don etkisine maruz bırakılmıştır. İkinci grup ise su kürüne tabi tutulmuştur. Taze halde farklı çevresel koşullara maruz bırakılan beton örneklerin, fiziksel ve mekanik etkilerini belirlemek amacıyla; su emme oranı, görünür yoğunluk tayini, kapilerite, basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite), görünür boşluk oranı, yarmada çekme dayanımı, aşınma dayanımı ile 3., 7. ve 28. günlük basınç dayanım değerleri belirlenmiştir.

2.2.1. Beton Örneklerinin Üretimi ve Dona Maruz Bırakma

Yapılan çalışmada kullanılan beton örneklerin üretimi Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında yapılmıştır. Beton karışım hesapları TS 2511 standardına göre yapılmıştır. Hazırlanan beton örnekler antifriz katkısız ve katkılı olarak 10 cm çapında ve 20 cm boyunda silindirik örnek şeklinde üretilmiştir. Hazırlanan beton örnekler antifriz katkı durumuna göre iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup 0 °C, -5 °C, -10 °C 'de iki gün boyunca taze halde don etkisine maruz bırakılmıştır. İki günün bitiminde oda sıcaklığında bir gün bekletilen beton örnekler kalıptan çıkartılmıştır. Beton örnekler 28 güne kadar su kürüne tabi tutulmuştur. İkinci grup ise normal üretim koşullarına maruz bırakılmıştır. Beton örneklerin üretim aşamaları Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2. Beton örneklerin üretim aşamaları

Soğutucu dolap içinde yer alan beton örnekler Şekil 2.3' te görülmektedir.



Şekil 2.3. Dona maruz bırakılan beton örnekler

2.2.2. Kapilerite(Kılcallık) Tayini

Kapilerite deneyi ASTM C1585 deney standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca kapilerite katsayılarının hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$I = \frac{m_t}{a/d} \quad (2-1)$$

Bu eşitlikte;

I ; Kapiler su emmeyi (mm),

m_t ; Beton örneğin zamana bağlı (t) kütleindeki değişimini(g),

a ; Deneye tabi beton örneğin alanını (mm²),

d ; Suyun yoğunluğunu (g/mm³).

göstermektedir.

$$K=Q^2/(A^2.t) \quad (\text{cm}^2/\text{sn}) \quad (2-2)$$

Bu eşitlikte;

K: Kapilerite katsayısını (cm²/s),

A: Beton örneğin su ile temas eden alanı (cm²),

t: Geçen zamanı (s),

Q: Emilen su miktarını (cm³)' dır.

göstermektedir.

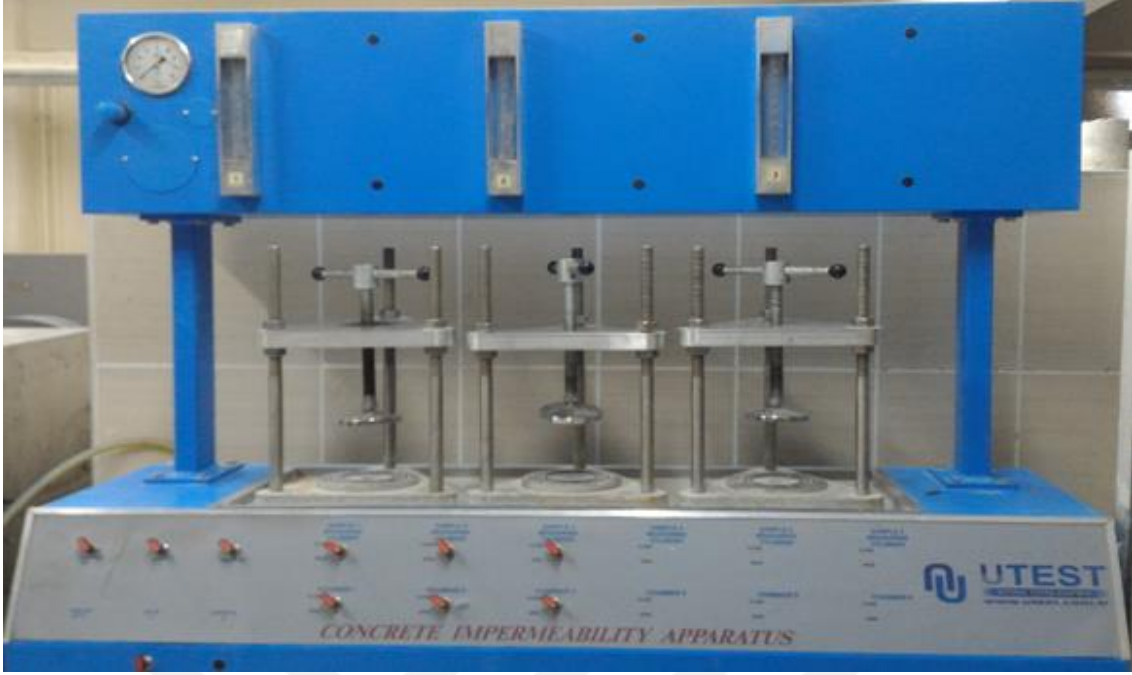
Kapilerite deney düzeneği Şekil 2.4' de görülmektedir.



Şekil 2.4. Kapilerite deney düzeneği

2.2.3. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini (İmpermeabilite)

TS EN 12390-8 standardına uygun olarak; basınçlı suyun uygulanacağı impermeabilite cihazına 10x20 cm boyutlarında hazırlanan sekiz adet silindir beton örnek yerleştirilmiştir. Bu örneklere 72 saat boyunca 5 bar (500 kPa) basınçlı su verilmiştir. Bu süre bitiminde beton örnekler, basınçlı suyun uygulandığı yüzeye dikey olarak yarılmış ve suyun beton içerisinde ilerlediği alan işaretlenmiştir. Basınç uygulanan deney yüzeyinden başlayarak suyun en fazla ilerlediği derinlik belirlenerek impermeabilite derinliği tespit edilmiştir. İmpermeabilite değerinin belirlenmesinde Şekil 2.5' de görülen impermeabilite cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Basınç altında su işleme derinliğinin tayini (İmpermeabilite) deney düzeneği

2.2.4. Görünür Yoğunluk Tayini

Görünür yoğunluk tayini ASTM C642 standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Yoğunluk, numunenin tayin edilen kütlesi ve hacmi kullanılarak, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$g = \left[\frac{A}{(A-D)} \right] \cdot \rho \quad (2-3)$$

Burada,

g = Numunenin görünür yoğunluğu (g/cm^3)

A = Etüv kurusu kütleyi, (g),

D = Su içerisindeki kütleyi, (g)

ρ = suyun yoğunluğu, $1 \text{ g}/\text{cm}^3$

İfade etmektedir.

2.2.5. Su Emme Oranı

Su emme oranı ASTM C642 standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Su emme oranı hesaplanmasında:

$$m = \frac{B-A}{A} * 100 \quad (2-4)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada,

m= Kütlece su emme oranını, (%),

A= Etüv kurusu kütleyi, (g),

B= Doygun kuru yüzey kütleyi, (g)

ifade etmektedir.

2.2.6. Basınç Dayanımının Tayini

Basınç dayanımı, 10x20 cm ebadında 72 adet silindir beton örnek üzerinde TS EN 12390-3 standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Beton basınç dayanımının hesaplanması:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2-5)$$

Eşitliği kullanılmıştır.

Burada:

f_c = Basınç dayanımını, MPa (N/mm²),

F= Kırılma anında ulaşılan en büyük yükü, N,

A_c = Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm²)

ifade etmektedir.

Basınç dayanımının belirlenmesinde Şekil 2.6.' da görülen basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 2.6. Beton basınç presi

2.2.7. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

TS EN 12390-6 (2010) standardında belirtilen usullere uygun olarak 10x20 cm boyutlarında hazırlanan sekiz adet silindir beton örnek üzerinde yarmada çekme dayanımı yapılmıştır.

Yarmada çekme dayanımı hesaplanmasında:

$$f_d = \frac{2F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (2-6)$$

ifadesi kullanılmıştır.

Bu denklemde:

f_d = Yarmada çekme dayanımını, (MPa),

F = En büyük yükü, (N),

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğunu, (mm),

d = Numunenin en kesit boyutlarını, (mm)

göstermektedir (TS EN 12390-6, 2010).

Yarmada çekme dayanımının belirlenmesinde Şekil 2.7.' de görülen yarmada çekme deney cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Yarmada çekme deney düzeneği

2.2.8. Aşınma Tayini

Aşınma dayanımı 10x20 cm ebadında silindir beton örnekler üzerinde. ASTM C944 deney standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Aşınma oranının hesaplanmasında:

$$AO = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (2-7)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada,

AO= Aşınma oranını (%)

W₀= İlk kütleyi (g)

W₁= Aşınma sonrasındaki kütleyi (g)

ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan aşındırma deney düzeneği Şekil 2.8’ de görülmektedir.



Şekil 2.8. Aşındırma deney düzeneği

2.3. Numunelerin Adlandırılması

Hazırlanan beton örnekler antifriz katkı durumuna ve maruz kaldıkları sıcaklık değerlerine göre adlandırılmıştır. Antifriz katkısız beton örnekler; normal hava sıcaklığına maruz beton N ile, 0 °C hava sıcaklığına maruz beton 0N ile, -5 °C hava sıcaklığına maruz beton -5N ile, -10 °C hava sıcaklığına maruz beton -10N ile adlandırılmıştır. Antifriz katkılı beton örnekler; normal hava sıcaklığına maruz beton AN ile, 0 °C hava sıcaklığına maruz beton 0A ile, -5 °C hava sıcaklığına maruz beton -5A ile, -10 °C hava sıcaklığına maruz beton -10A ile adlandırılmıştır. Tablo 2.4’ de numunelerin adlandırılması görülmektedir.

Tablo 2.4. Numunelerin adlandırılması

Sıcaklık Değerleri / Katkı Durumu	Normal	0°C	-5°C	-10°C
	Antifriz Katkısız	N	0N	-5N
Antifriz Katkılı	AN	0A	-5A	-10A

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Bitlis ilinden temin edilen pomza agregası kullanılarak üretilen ve taze halde iken soğuk hava tesirine maruz bırakılan hafif betonların son dayanımlarını kazandıktan sonra örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

3.1. Kapilerite(Kılcallık)

Taze halde farklı sıcaklık değerlerine maruz bırakılan hafif beton örnekler üzerinde kapilerite (numune tabanı suya batırılarak beton kılcal boşluklarını belirleme) deneyi yapılmıştır. Bulunan değerler zamanla beton örneklerin emdiği su miktarına göre karşılaştırılmıştır. Beton örneklerin kapiler yolla emdiği su miktarları ve kapilerite katsayıları Tablo 3.1’ de ve Tablo 3.2’ de görülmektedir. Ayrıca beton örneklerin kapilerite değerlerinin gösterildiği grafikler Şekil 3.1’ de ve Şekil 3.2’ de görülmektedir.

Tablo 3.1. Taze halde normal koşullarda antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde emilen su miktarları ve kapilerite katsayısı değerleri

Numune Adı	N	0N	-5N	-10N
Kapilerite Katsayısı(cm ² /s)	3.18 x10 ⁻⁷	2.29x10 ⁻⁷	2.50x10 ⁻⁷	2.71x10 ⁻⁷
Süre (s)	Emilen Su Miktarı (g)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
60	3.20	4.10	4.20	3.70
300	5.60	5.90	6.80	5.60
600	7.00	7.20	8.30	7.00
1200	8.70	8.60	9.80	8.10
1800	10.10	9.40	10.90	9.00
3600	12.20	10.40	12.10	10.20
7200	14.40	11.90	13.70	11.80
10800	16.90	13.20	15.50	14.20
14400	17.30	13.40	16.10	14.70
18000	18.80	14.10	17.10	14.90
21600	19.60	15.00	17.70	15.80
86400	28.10	23.00	24.50	23.90
172800	30.90	25.90	27.40	27.30
259200	32.80	28.00	29.30	29.60
345600	34.10	28.90	30.40	31.40
432000	34.90	29.80	31.30	32.50
518400	35.50	30.10	31.60	33.00
604800	36.00	31.00	32.40	33.80
691200	36.80	31.20	32.60	34.00

Tablo 3.2. Taze halde normal koşullarda antifriz katkıli üretilen hafif beton örneklerde emilen su miktarları ve kapilerite katsayısı değerleri

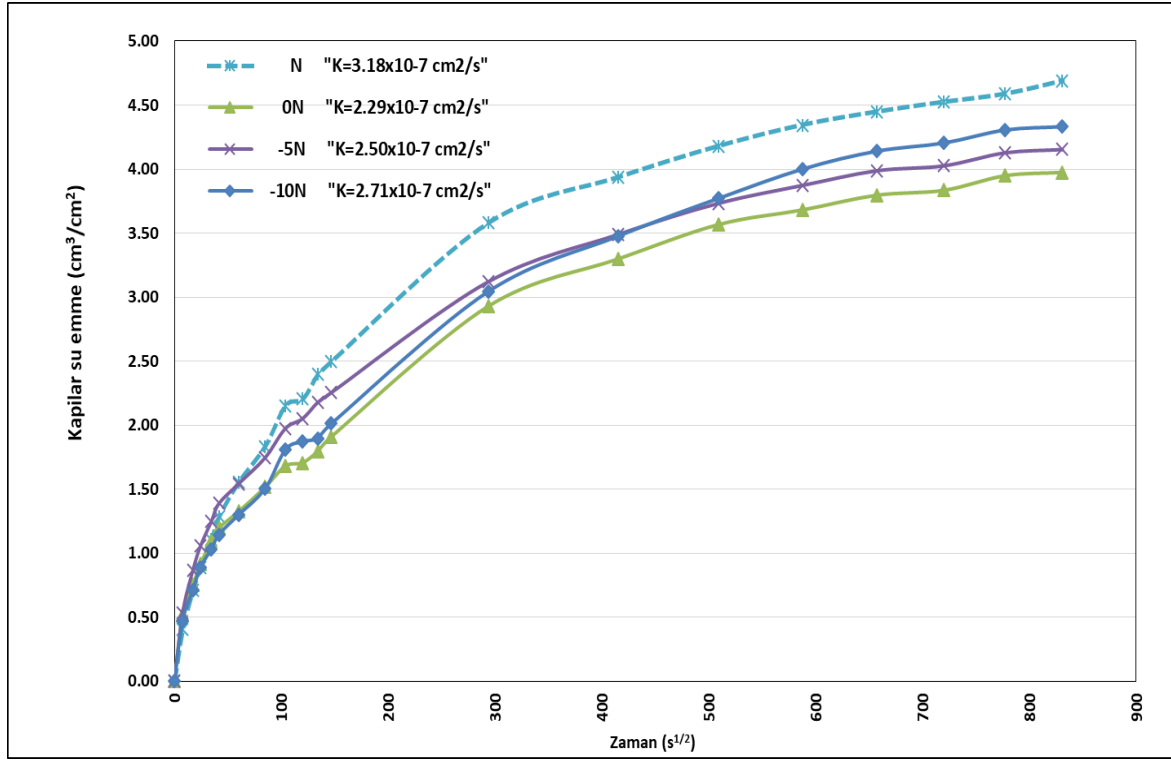
Numune Adı	AN	0A	-5A	-10A
Kapilerite Katsayısı(cm²/s)	4.82 x10 ⁻⁷	3.09x10 ⁻⁷	3.30x10 ⁻⁷	3.72x10 ⁻⁷
Süre (s)	Emilen Su Miktarı (g)			
0	0.00	0.00	0.00	0.00
60	5.50	3.80	7.80	5.10
300	8.90	6.20	10.30	8.40
600	11.50	8.00	12.20	10.70
1200	13.70	10.00	14.00	12.60
1800	15.10	11.40	14.90	13.80
3600	16.90	13.10	16.30	15.60
7200	19.00	15.30	18.00	17.90
10800	21.30	17.20	20.10	20.70
14400	22.50	18.00	20.40	20.90
18000	23.90	18.80	21.20	21.80
21600	24.90	19.60	21.90	22.50
86400	33.70	27.20	28.70	29.30
172800	37.50	30.10	31.70	32.80
259200	40.40	32.30	33.40	35.40
345600	42.00	33.80	34.90	37.00
432000	43.20	34.70	35.80	38.00
518400	43.90	35.20	36.30	38.60
604800	44.90	36.10	37.20	39.30
691200	45.30	36.30	37.50	39.80

Taze halde farklı sıcaklık değerlerine maruz kalan antifriz katkısiz hafif beton örneklerin kapiler su emme miktarındaki ve kapilerite katsayısındaki değişim değerlendirmesine göre;

Antifriz katkısiz hafif beton örneklerin;

- Normal şartlarda üretilen beton örneklerin 36.80 g ile en fazla kapiler su emme miktarına sahip olduğu,
- 0°C' ye maruz kalan beton örneklerin 31.20 g ile en az kapiler su emme miktarına sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %15.2, %11.4 ve %7.6 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %28.1, %21.5 ve %14.6 daha küçük kapilerite katsayısı belirlenmiştir.

Antifriz katkısız beton örneklerin kapiler su emme miktarlarını gösteren grafik Şekil 3.1’ de görülmektedir. Genel olarak zamanın artmasıyla emilen su miktarı da artmıştır. En fazla su emme değerleri N numunesinde, en az su emme değerleri ise 0N numunesinde olduğu görülmektedir.

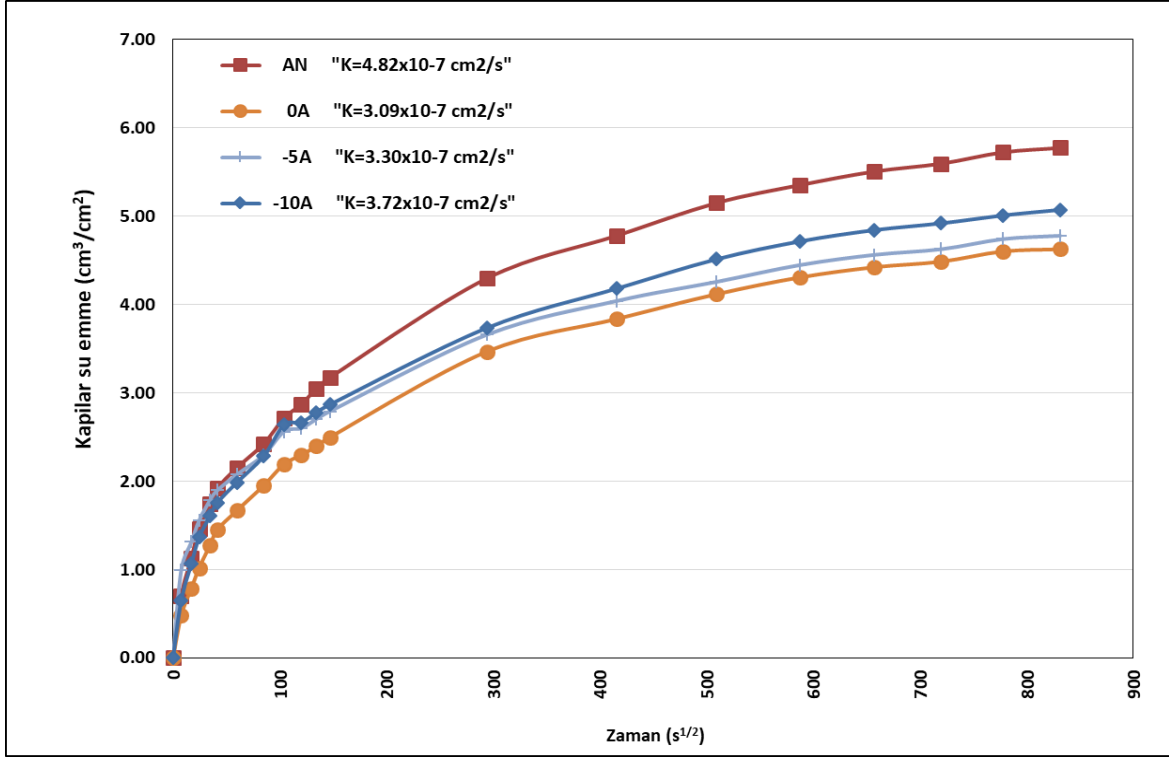


Şekil 3.1. Antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 45.30 g ile en fazla kapiler su emme miktarına sahip olduğu,
- 0°C’ ye maruz kalan beton örneklerin 36.30 g ile en az kapiler su emme miktarına sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C’ ye maruz bırakılan beton örneklerin normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %19.9, %17.2 ve %12.1 daha az kapiler yolla su emdiği,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C’ ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %35.8, %31.5 ve %22.8 daha küçük kapilerite katsayısı belirlenmiştir.

Antifriz katkıli beton örneklerin kapiler su emme miktarlarını gösteren grafik Şekil 3.2’ de görülmektedir. Genel olarak zamanın artmasıyla emilen su miktarı da artmıştır. En fazla su emme değerleri AN numunesinde, en az su emme değerleri ise 0A numunesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarları

Antifriz katkıli örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %23.10 daha fazla kapiler yolla su emdiği görülmüştür.
- 0°C’ ye maruz beton örneklerin %16.35 daha fazla kapiler yolla su emdiği görülmüştür.
- -5°C’ ye maruz beton örneklerin %15.03 daha fazla kapiler yolla su emdiği görülmüştür.
- -10°C’ ye maruz beton örneklerin %17.06 daha fazla kapiler yolla su emdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile betonun boşluk yapısının artması dolayısıyla kapiler su emme miktarının da artması beklenmektedir. Ancak antifriz katkı kullanımına bakılmaksızın 0°C’ ye maruz kalan beton örneklerin kapiler

su emme miktarının -5°C ve -10°C ' ye maruz kalan beton örneklerin kapiler su emme miktarlarından daha az olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin, taze halde soğuk havaya maruz kalan beton yapısında donan suyun %9 hacim genişlemesine uğraması sebebiyle kılcal kanalların genişlemesi ve kanallardaki bu çap artışı sebebiyle suyun kılcal yolla daha az yükselmesi olduğu düşünülmektedir.

Beton örneklerin maruz kaldığı aynı sıcaklık değerlerinde (normal koşullarda, 0°C , -5°C , -10°C) antifriz katkılı beton örnekler, antifriz katkısız beton örneklerin su emme miktarlarına göre en az %15.03 oranı ile 0°C 'ye maruz kalan beton örneklerde olduğu ve en çok %23.10 oranı ile normal koşullarda üretilen beton örneklerde olduğu görülmüştür.

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0 , -5 , -10 , -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerlerinin arttığını ve bundan ötürü kapiler su emme değerlerinin düştüğünü gözlemiştir. Soğuk hava koşullarına maruz kalan taze haldeki betonun kür sıcaklık değerlerinin düşmesiyle beton örneklerin içinde boşluklar oluştuğunu belirtmiştir. Oluşan bu boşlukların kapiler kanalları kestiğini ve betonun kapilerite değerini düşürdüğünü saptamıştır.

3.2. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini (İmpermeabilite)

Taze halde donan maruz bırakılan hafif beton örnekler üzerinde basınç altında su işleme derinliğinin tayini (impermeabilite) deneyi gerçekleştirilmiştir. Antifriz katkılı ve antifriz katkısız örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerine ilişkin basınç altında su işleme derinliği kıyaslanmıştır. Beton örneklerin basınç altında su işleme derinliği Tablo 3.3.' de, antifriz katkısız ve katkılı beton örneklerin basınç altında su işleme derinliğini gösterir grafik ise Şekil 3.3' de görülmektedir.

Tablo 3.3. Beton örneklerin basınç altında su işleme derinliği (impermeabilite değerleri)

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Beton Örneklerin Basınç Altında Su İşleme Derinliği (cm)	8.3	8.7	9.2	11.6	8.1	8.4	8.9	9.8

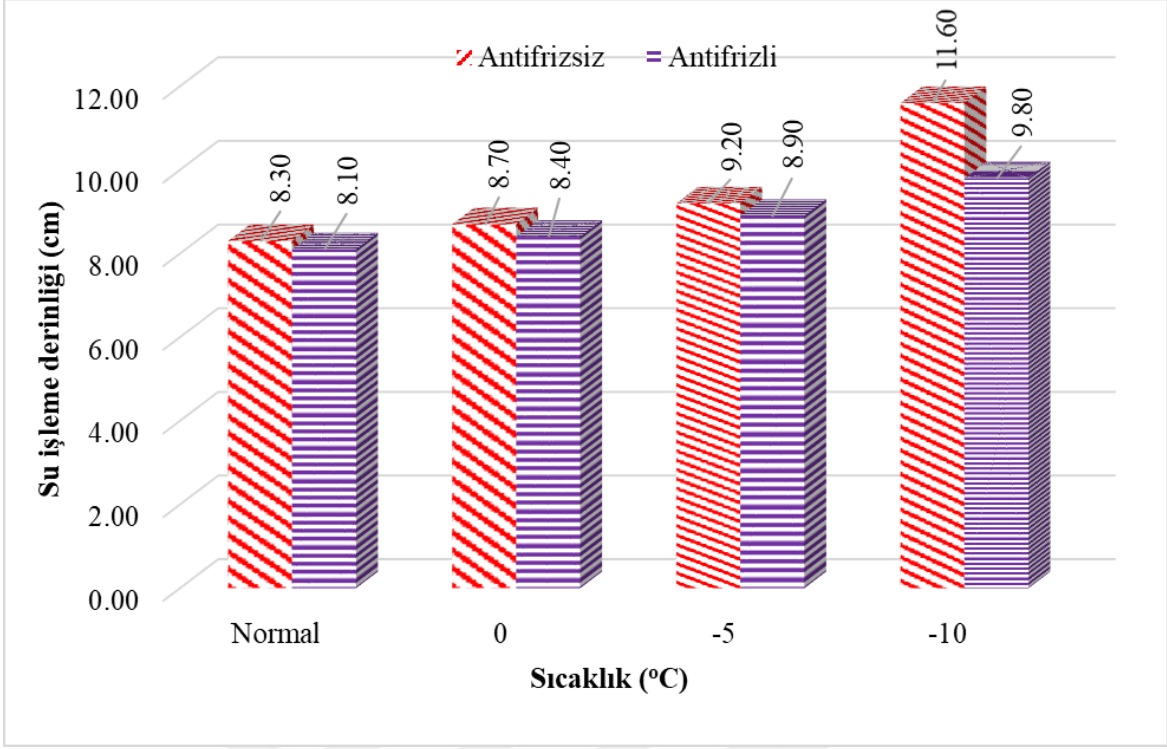
Hafif beton örneklerin taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkısız ve katkılı duruma göre,

Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 8.3 cm ile en küçük basınç altında su işleme derinliği değerine sahip olduğu,
- -10°C' ye maruz beton örneklerin 11.6 cm ile en büyük basınç altında su işleme derinliği değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %4.8, %10.8 ve %39.8 daha büyük basınç altında su işleme derinliği değerine sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 8.1 cm ile en küçük basınç altında su işleme derinliği değerine sahip olduğu,
- -10°C' ye maruz beton örneklerin 9.8 cm ile en büyük basınç altında su işleme derinliği değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %3.7, %9.9 ve %21.0 daha büyük basınç altında su işleme derinliğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.3. Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların basınç altında su işleme derinliği (impermeabilite değerleri)

Antifriz katkılı örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %2.41 daha az basınç altında su işleme derinliğine sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %3.45 daha az basınç altında su işleme derinliğine sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %3.26 daha az basınç altında su işleme derinliğine sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %15.52 daha az basınç altında su işleme derinliğine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile basınç altında su işleme derinliği artmaktadır. Basınç altında su işleme derinliğindeki bu artışın nedeni; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu düzensiz boşluklara ve genişleyen kılcal kanallara suyun daha rahat nüfuz etmesi olduğu düşünülmektedir. Beton örneklerin maruz kaldığı aynı sıcaklık değerlerinde (normal şartlarda, 0°C, -5°C, -10°C) antifriz kullanımını soğuk hava etkisinde

beton yapısında oluşacak olan düzensiz boşlukları azaltmasından kaynaklı beton örneklerin basınç altında su işleme derinliğini düşürmüştür. Bu durum literatür ile de uyumludur.

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0, -5, -10, -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerlerinin arttığını ve bundan ötürü basınç altında su işleme derinliğinin de arttığını gözlemiştir.

3.3. Görünür Yoğunluk Tayini

Taze halde dona maruz bırakılan hafif beton örnekler üzerinde görünür yoğunluk tayini deneyi gerçekleştirilmiştir. Antifriz katkılı ve antifriz katkısız örneklerin taze halde maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerine ilişkin görünür yoğunluk tayini değerleri kıyaslanmıştır. Beton örneklerin ortalama görünür yoğunluk tayini değerleri Tablo 3.4' de, beton örneklerin antifriz katkısız ve katkılı ortalama görünür yoğunluk tayini değerlerini gösterir grafik ise Şekil 3.4' de görülmektedir.

Tablo 3.4. Beton örneklerin görünür yoğunluk değerleri

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Beton Örneklerin Görünür Yoğunluk Değerleri (g/cm³)	1.43	1.36	1.34	1.34	1.44	1.38	1.36	1.35

Hafif beton örneklerin taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkısız ve katkılı duruma göre,

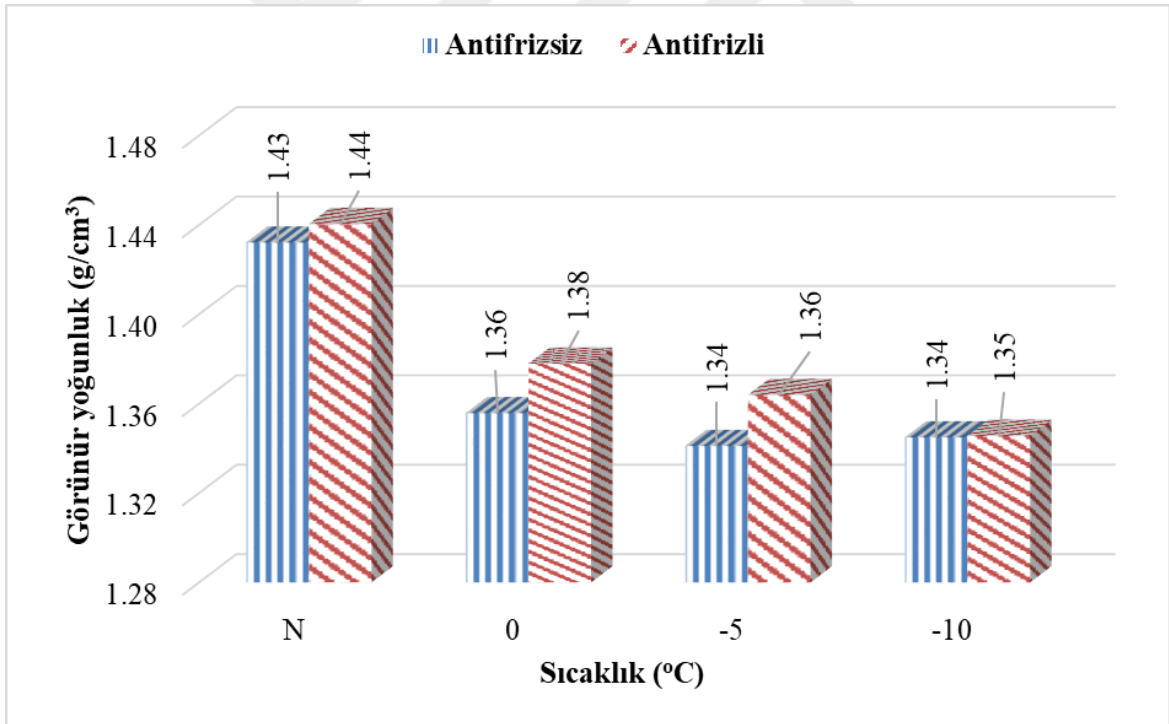
Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

- -5°C ve -10°C' ye maruz beton örneklerin 1.34 g/cm³ ile en küçük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 1.43 g/cm³ ile en büyük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C

ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %5.3, %6.4 ve %6.1 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkıli hafif beton örneklerin;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 1.35 g/cm³ ile en küçük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 1.44 g/cm³ ile en büyük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %4.3, %5.3 ve %6.6 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.4. Antifriz katkısız ve katkıli hafif betonların görünür yoğunluk değerleri

Antifriz katkıli örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %0.58 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu görülmüştür.

- 0°C' ye maruz beton örneklerin %1.64 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %1.70 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %0.06 daha düşük görünür yoğunluk tayini değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile görünür yoğunluk değeri (antifriz katkısız -10°C' ye maruz beton örnekler hariç) düşmektedir. Görünür yoğunluk değerindeki bu azalma; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu boşluklardır. Yani %9 hacim genişlemesine uğrayan betonun birim hacmindeki madde miktarı azaldığından görünür yoğunluk değeri de azalmaktadır.

Beton örneklerin maruz kaldığı aynı sıcaklık değerlerinde (normal koşullarda, 0°C, -5°C, -10°C) antifriz kullanımı beton örneklerin görünür yoğunluk değerlerini arttırmıştır. Beton örneklerin maruz kaldığı aynı sıcaklık değerlerinde (normal koşullarda, 0°C, -5°C, -10°C) antifriz katkılı beton örnekler, antifriz katkısız beton örneklerin görünür yoğunluk değerlerine göre en az %0.06 oranı ile -10°C' ye maruz bırakılan beton örneklerde olduğu ve en çok %1.70 oranı ile -5°C' ye maruz bırakılan beton örneklerde olduğu görülmüştür.

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0, -5, -10, -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerlerinin de arttığını ve bundan ötürü birim kütle değerlerinin düştüğünü gözlemiştir.

Yapılan deneysel analiz sonucunda görünür yoğunluk değerleri ile su emme oranları arasında ters orantı olduğu saptanmıştır. Bu durum literatür ile de uyumludur. Çaçur (2019), tarafından yapılan çalışmada da bu durum aynı şekilde belirtilmiştir. Hafif beton örneklerinin yoğunluklarının artmasıyla beton örneklerin yapısındaki boşluk miktarı azaldığından su emme oranının da azaldığını saptamıştır.

3.4. Su Emme Oranı

Taze halde donan maruz bırakılan hafif beton örnekler üzerinde su emme oranı deneyi gerçekleştirilmiştir. Antifriz katkılı ve antifriz katkısız örneklerin taze halde maruz

bırakıldığı sıcaklık değerlerine ilişkin su emme oranı değerleri kıyaslanmıştır. Beton örneklerin ortalama su emme oranı değerleri Tablo 3.5’ de, beton örneklerin antifriz katkısız ve katkılı ortalama su emme oranı değerlerini gösterir grafik ise Şekil 3.5’ de görülmektedir.

Tablo 3.5. Beton örneklerin ortalama su emme oranı değerleri

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Beton Örneklerin Ortalama Su Emme Oranı Değerleri (%)	32.30	36.16	36.98	37.17	31.96	34.61	34.81	36.02

Hafif beton örneklerin taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkısız ve katkılı duruma göre,

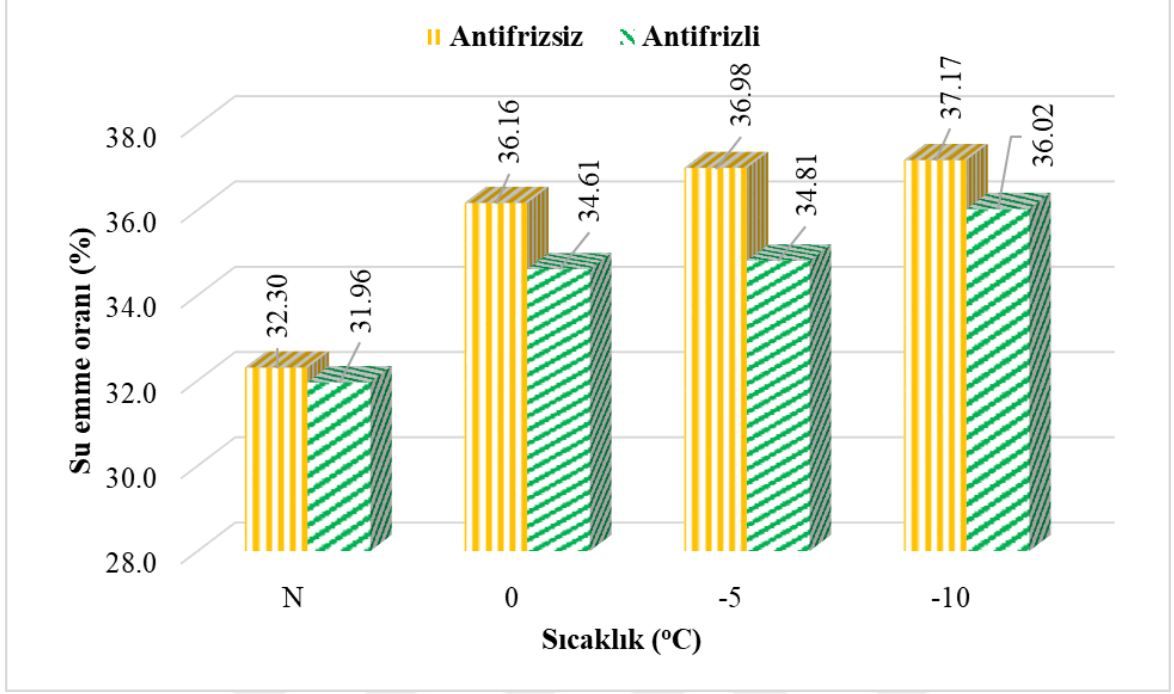
Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %32.30 ile en küçük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- -10°C’ ye maruz beton örneklerin %37.17 ile en büyük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C’ ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %12.0, %14.5 ve %15.1 daha yüksek su emme oranı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %31.96 ile en küçük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- -10°C’ ye maruz beton örneklerin %36.02 ile en büyük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C’ ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere

göre sırasıyla %8.3, %8.9 ve %12.7 daha yüksek su emme oranı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.5. Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların ortalama su emme oranı değerleri

Antifriz katkılı örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %1.06 daha düşük su emme oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %4.29 daha düşük su emme oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %5.87 daha düşük su emme oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %3.08 daha düşük su emme oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; su emme oranı, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile artmaktadır. Su emme oranlarındaki bu artış; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu düzensiz boşluklara ve genişleyen kılcal kanallara suyun daha rahat nüfuz etmesi nedeniyle betonun su emme oranını arttırmasıdır.

Gündüz vd. (2006), su emme kapasitesine etki eden başlıca etmenleri: Açık-kapalı gözenek dağılım oranı, agrega tanelerinin kompasitesi ve doyma derecesi olarak gözlemiştir

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0, -5, -10, -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerlerinin de arttığını ve bundan ötürü su emme değerlerinin de arttığını gözlemiştir.

Akçakale (2010), Nevşehir-Niğde yöresi pomzaları ile Osmaniye pomzası kullanarak elde ettiği bims tozu ile ürettiği beton örneklerin su emme değerlerinin %5.96-13.45 aralığında olduğunu saptamıştır. Ayrıca boşluk oranı diğer örneklere kıyasla en fazla olan beton örneğinin su emme oranının da en fazla olduğunu görmüştür.

Öztürk (2012), hafif beton örneklerinin su emme oranlarının %0.79-%6.33 aralığında değişim gösterdiğini gözlemiştir. Kısmen birim kütleyle alakalı olan su emme oranının üretilen örneklerin bileşiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve malzeme oranlarıyla yakından ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

3.5. Basınç Dayanımı

Taze halde don etkisine maruz bırakılan hafif beton örneklerin 3., 7. ve 28. günde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Antifriz katkısız ve katkılı örneklerin taze halde maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerine ilişkin basınç dayanımları kıyaslanmıştır. Taze betonun maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre, ortalama basınç dayanımı değerleri Tablo 3.6' da görülmektedir. Ayrıca beton örneklerin antifriz katkılı ve antifriz katkısız ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.6 ve Şekil 3.7' de görülmektedir.

Tablo 3.6. Beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Kür Süresi	Beton Örneklerin Ortalama Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)							
3. gün	6.65	5.09	4.92	4.65	7.13	6.94	6.77	5.66
7. gün	8.58	6.83	6.78	6.19	7.96	7.79	7.73	7.26
28. gün	9.34	7.93	7.81	7.39	8.50	8.40	8.36	8.13

Hafif beton örneklerin taze halde maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkı durumu ve kür süresine göre,

Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

3 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

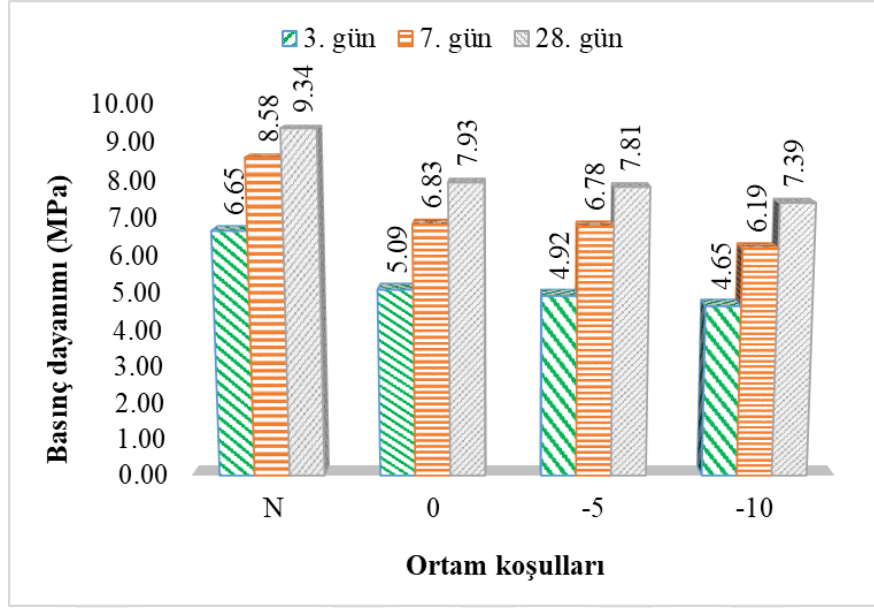
- -10°C' ye maruz beton örneklerin 4.65 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 6.65 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %23.6, %26.0 ve %30.2 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 6.19 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 8.58 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %20.4, %21.0 ve %27.8 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 7.39 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 9.34 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %15.1, %16.4 ve %20.8 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6. Antifriz katkısız hafif betonların ortalama basınç değerleri

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

3 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

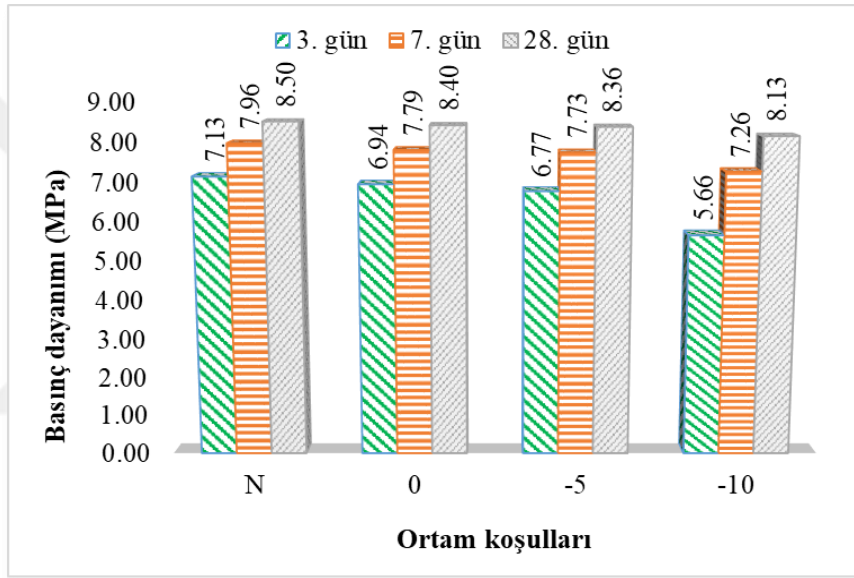
- -10°C' ye maruz beton örneklerin 5.66 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 7.13 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %2.7, %5.1 ve %20.7 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 7.26 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 7.96 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %2.1, %2.9 ve %8.8 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 8.13 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 8.50 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %1.1, %1.6 ve %4.3 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7. Antifriz katkılı hafif betonların ortalama basınç değerleri

Antifriz katkılı örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

3 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %7.2 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %36.5 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %37.5 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %21.7 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %7.2 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %14.1 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %14.0 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %17.2 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %9.0 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %6.0 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %7.1 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %10.0 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; basınç dayanımı değeri, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile azalmaktadır. Basınç dayanımı değerindeki bu düşüşün nedeni; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu mikro çatlak ve boşluklardır.

Normal koşullarda üretilen beton örneklerin sadece 7. ve 28. günlük basınç dayanım değerlerinde antifriz kullanımı sonucu azalma meydana gelmiş, diğer bütün örneklerin basınç dayanım değerleri antifriz kullanımı ile artmıştır.

Şengül vd. (2003), beton örnekler dona maruz bırakılarak basınç dayanımı değerleri kıyaslanmıştır. Herhangi bir katkı kullanılmayan serilerin katkı kullanılan serilere %35.7-69.4 arasında basınç dayanımında artış olduğu yapılan deneylerle ortaya konulmuştur.

Uygunoğlu ve Ünal (2005a), beton örneklerin içine kılcal yolla girmiş olan suyun donması sonucunda beton dayanım değerlerini takriben %25 oranında arttırdığını gözlemlemiştir.

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0, -5, -10, -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz

bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerleri artmakta ve bundan ötürü basınç dayanımı değerlerinin de düştüğünü gözlemiştir.

Akçakale (2010), Nevşehir-Niğde yöresi pomzaları ile Osmaniye pomzası kullanarak elde ettiği bims tozu ile üretilen beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımlarını kazandıktan sonra don etkisine maruz bırakılmalarıyla %12.00-18.20 aralığında basınç dayanım kaybı olduğunu görmüştür.

Karagöl (2013), ortam sıcaklığı düştükçe beton örneklerin basınç dayanımlarının düştüğünü gözlemiştir. Soğuk havaya maruz betonların aynı ortamdaki kür süresinin artmasıyla basınç dayanımlarının da azaldığını görmüştür. Bu durumun nedeni olarak, taze halde suya doygun olan beton örneklerin bünyesindeki suyun donması sonucunda betonda hacim artışının beton bünyesinde meydana gelen gerilmeler neticesinde oluşan mikro çatlakların homojenliği bozduğu, poroziteyi arttırdığı ve bütünlüğün azalmasına neden olduğu tahmini yapılmıştır. Don etkisinin sürekli olması nedeniyle prizi geciken betonun dayanım kazanma hızının yavaşladığı belirtilmiştir. Bu etkinin sıcaklık değerlerinin düşmesiyle daha fazla gözlemlendiği vurgulanmıştır. Zira dayanım kazanma hızının; kür sıcaklığına, hidrasyon derecesine ve hızına bağlı olan bir fonksiyon olduğu ifade edilmiştir.

3.6. Yarmada Çekme Dayanımı

Taze halde don etkisine maruz kalan hafif beton örnekler üzerinde yarmada çekme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Antifriz katkısız ve katkılı örneklerin taze halde maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerine ilişkin yarmada çekme dayanımları kıyaslanmıştır. Beton örneklerin yarmada çekme dayanımları Tablo 3.7' de ve Şekil 3.8' de görülmektedir.

Tablo 3.7. Beton örneklerin yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Beton Örneklerin Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (MPa)	0.98	0.80	0.77	0.71	1.10	0.92	0.88	0.84

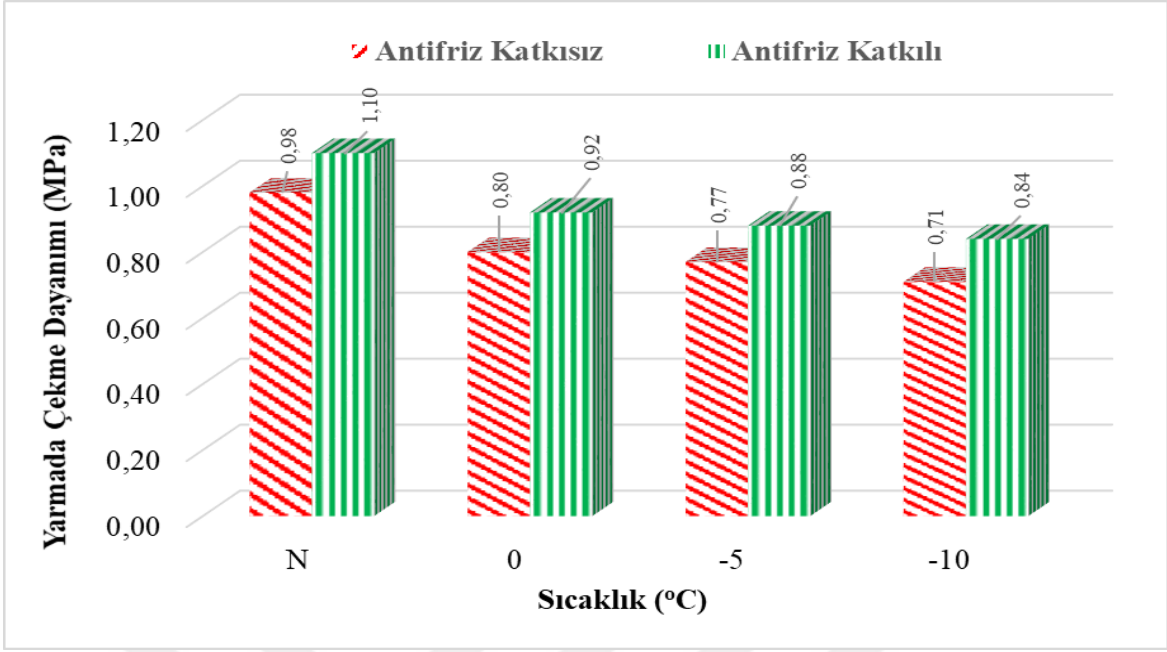
Hafif beton örneklerin taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkısız ve katkılı duruma göre,

Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 0.71 MPa ile en küçük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 0.98 MPa ile en büyük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %18.4, %21.4 ve %27.6 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

- -10°C' ye maruz beton örneklerin 0.84 MPa ile en küçük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin 1.10 MPa ile en büyük yarmada çekme dayanımı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %16.4, %20.0 ve %23.6 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.8. Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların yarmada çekme dayanımı değerleri

Antifriz katkılı örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %12.24 daha büyük,
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %15.00 daha büyük,
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %14.29 daha büyük,
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %18.31 daha büyük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yarmada çekme dayanımı değeri, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile azalmaktadır. Yarmada çekme dayanımı değerindeki bu düşüşün nedeni; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu mikro çatlak ve boşluklardır.

Literatürle uyumlu olarak, basınç dayanım değerleri arttıkça yarmada çekme dayanım değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Düzgün (2001), yaptığı çalışmada aynı durumdan söz etmiştir.

Çullu (2009), antifriz katkıları kullanarak üç grup halinde hazırladığı beton örnekleri taze halde beş farklı sıcaklık koşulunda (0, -5, -10, -15 ve -20°C) soğuk havaya 2 gün maruz bırakmıştır. Bu beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin düşmesi ile görünür boşluk oranı değerleri artmakta ve bundan ötürü yarmada çekme dayanımı değerlerinin düştüğünü gözlemiştir.

3.7. Aşınma Tayini

Taze halde donu maruz bırakılan hafif beton örnekler üzerinde aşınma deneyi gerçekleştirilmiştir. Hafif beton örneklerin, taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değerlerinin antifriz katkı durumuna göre ortalama aşınma oranları kıyaslanmıştır. Beton örneklerin ortalama aşınma oranları Tablo 3.8’ de ve Şekil 3.9’ da görülmektedir.

Tablo 3.8. Beton örneklerin ortalama aşınma oranları

Numune Adı	Antifriz Katkısız				Antifriz Katkılı			
	N	0N	-5N	-10N	AN	0A	-5A	-10A
Beton Örneklerin Ortalama Oranları(%)	0.32	0.83	0.85	0.99	0.23	0.64	0.73	0.75

Hafif beton örneklerin taze halde iken maruz bırakıldığı sıcaklık değeri, antifriz katkısız ve katkılı duruma göre,

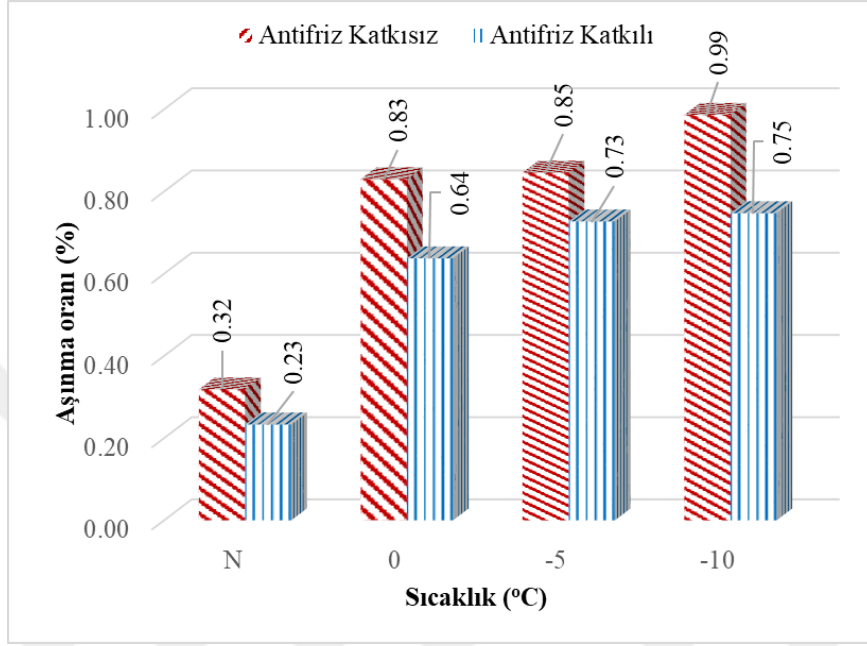
Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %0.32 ile en küçük aşınma oranı değerine sahip olduğu,
- -10°C’ ye maruz beton örneklerin %0.99 ile en büyük aşınma oranı değerine sahip olduğu,
- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C’ ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklere göre sırasıyla %173, %156 ve %223 daha yüksek aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %0.23 ile en küçük aşınma oranı değerine sahip olduğu,
- -10°C’ ye maruz beton örneklerin %0.75 ile en büyük aşınma oranı değerine sahip olduğu,

- Taze halde hafif beton örneklerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C' ye maruz bırakılan beton türlerinde normal koşullarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %151, %212ve %214 daha yüksek aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.9. Antifriz katkısız ve katkılı hafif betonların ortalama aşınma oranları

Antifriz katkılı örneklerin antifriz katkısız örneklere göre kıyaslaması;

- Normal koşullarda üretilen beton örneklerin %26.78 daha düşük aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.
- 0°C' ye maruz beton örneklerin %23.19 daha düşük aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.
- -5°C' ye maruz beton örneklerin %14.02 daha düşük aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.
- -10°C' ye maruz beton örneklerin %24.24 daha düşük aşınma oranına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; aşınma oranları, betonun taze halde maruz kaldığı soğuk hava etkisi ile artmaktadır. Aşınma oranının bu artışının nedeni; soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak hacim genişlemesi sonucu betonda oluşturduğu mikro çatlak ve boşluklardır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Bitlis ilinden temin edilen pomza agregası kullanılarak üretilen ve taze halde iken soğuk hava tesirine maruz bırakılan hafif betonların son dayanımlarını kazandıktan sonra örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar irdelendiğinde aşağıda yer alan değerlendirmeler yapılmıştır.

Bitlis yöresinden elde edilen pomza agregası kullanılarak üretilen hafif beton örneklerinin normal şartlarda elde edilen basınç dayanımı 9.34 MPa ve görünür yoğunluğu 1.43 g/cm³'tür. Bu haliyle bu çalışmada bu hafif agrega ile üretilen beton numuneleri TS EN 206-1 standardına göre LC 8/9 dayanım sınıfında ve D1.6 yoğunluk sınıfı düzeyindedir.

Soğuk hava şartlarında beton bileşiminde yer alan suyun donarak %9 oranında hacim genişmesi sonucu betonda oluşturduğu mikro çatlak ve boşlukların görünür yoğunluk, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve aşınma dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak kılcal yolla su emme değerlerinde bu durumun aksine, beton yapısında donan suyun hacim genişlemesine uğraması sebebiyle kılcal kanalların genişlemesi ve kanallardaki bu çap artışı sebebiyle suyun kılcal yolla daha az yükselmesine sebep olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkısız örnekler kendi içinde değerlendirildiğinde, genel olarak, sıcaklık düşüşüyle görünür yoğunluk (%5.3-6.4), basınç dayanımı (%15.1-20.8), yarmada çekme dayanımı (%18.4-27.6) ve aşınma (%173-223) değerlerinin düştüğü; kılcal su emme (%7.6-15.2), basınç altında su işleme derinliğinin (%4.8-39.8) ve su emme (%12-15.1) değerlerinin arttığı görülmüştür.

Benzer şekilde antifriz katkılı örnekler kendi içinde değerlendirildiğinde ise sıcaklık düşüşüyle görünür yoğunluk (%4.3-6.6), basınç dayanımı (%1.1-4.3), yarmada çekme dayanımı (%16.4-23.6) ve aşınma (%151-214) değerlerinin düştüğü; kılcal su emme (%12.1-19.9), basınç altında su işleme derinliğinin (%3.7-21) ve su emme (%8.3-12.7) değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Aynı sıcaklık etkisinde antifriz kullanımının antifriz katkısız örneklere göre olumlu yönde görünür yoğunluk (%0.06-1.7), basınç dayanımı (normal örnekler hariç %6-10) ve yarmada çekme dayanımı (%12.24-18.31) değerlerinin artması yine olumlu olarak aşınma (%14.02-26.78), basınç altında su işleme derinliğinin (%2.41-15.52) ve su emme (%1.06-

5.87) değerlerinin dūşmesi yönünde katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Antifriz katkısının yalnız normal şartlardaki hafif beton örneklerinin basınç dayanımını %9 oranında dūşüren ayrıca kılcal su emme oranını ise %15.03-23.1 düzeyinde artıran olumsuz bir etkisinin de bulunduğu ayrıca belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar irdelendiğinde aşağıda yer alan önerilerin ileriki çalışmalara ışık tutacağı düşünölmektedir.

- Farklı yörelerin pomza agregaları kullanılarak yapılan deneyler tekrar edilebilir.
- Özdeş ya da daha düşük yoğunlukta fakat daha yüksek dayanımlı hafif beton örnekleri üretilmeye çalışılabilir.
- Beton örnekler üzerinde donma-çözölme, ultrases geçiş hızı, porozite deneyleri yapılarak sonuçlar tartışılabilir.
- Farklı agrega granölometresi kullanılarak en uygun agrega oranları tespit edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Akçakale, A. H., 2010. Bazaltik Pomza ve Bims Agregalı Hafif Betonun Bazı Dayanıklılık Karakteristiklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 3,28-31,41,42s.
- Akkaş, A., 2011. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Taşıyıcılık Özelliklerinin Aratırılması. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 4,13s.
- Akol, C., 2010. Genleştirilmiş Vermikulit İçeren Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Davranışı. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sivas. 2,3,41s.
- Aktaş, B., 2007. Çelik Lifli Hafif Beton ile İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kayseri. 4,54,55s.
- Aktürk, B., Yüzer, N., Kabay, N. ve Biricik, H., 2015. Ham Pirinç Kabuğunun Yüksek Sıcaklık Etkisine Maruz Betonda Polipropilen Lif Yerine Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 365-374s.
- Akyol, O., 2013. Polistiren Taneli Köpük Katkı ile Bimsblok Duvar Elemanı Üretiminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon. 5,65s.
- ASTM C173, 1994. Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C494, 1994. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C642, 1994. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C944, 1994. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C1585, 1994. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. Annual Book of ASTM Standards.

- Ay, S., 2010. Farklı Agregalı Betonların Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 5,70,71s.
- Balun, B., 2013. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik ve Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 5s.
- Balun, B. ve Karataş, M., 2015. Genleştirilmiş Perlit ve Bitlis Yöresi Pomzası İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 131-140s.
- Baradan, İ. B., Yazıcı, H. ve Ün, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliği. İstanbul. 9s.
- Bekar, M., Şapçı, N. ve Gündüz, L., 2006. Aksaray Bölgesi Volkanik Tüf Serilerinin Sıva Malzemesi Olarak Kullanımı. IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. İstanbul.
- Bideci, A., Sallı Bideci, Ö., Yıldırım, H., Oymael, S. ve Subaşı, S., 2015. Pomza Agregasına Polimer Kaplamasının Hafif Betonun Mühendislik Özelliklerine Etkisi. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 153-162s.
- Binici, H., Temiz, H. ve Çağatay, İ. H., 2007. Erzurum Tımar ve Dazlak Pomzalarının Katkılı Çimento ve Hafif Agregalı Beton Üretiminde Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 22(2), 153-164s.
- Bursa, C., 2017. Uçucu Küllerinden Hafif Agreganın Üretimine Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 4,66-69s.
- Canbaz, M., Akçay, M. ve Ergin, S., 2018. Elektriksel Direnç ile Isıtma Yoluyla Uygulanan Kürün Beton Özelliklerine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi. 23(1), 431-440s.
- Çaçur, Y., 2019. Hücresel Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van. 70s.
- Çelikten, S., 2014. Çelik Fiber İçeren Yüksek Dayanımlı Beton Özellikleri Üzerine Metakaolin ve Öğütülmüş Pomzanın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Niğde. 34s.
- Çelikten, S. ve Canbaz, M., 2018. Zorlu Ortam Koşullarında Demiryolu Sanat Yapılarının Yerinde Üretimi. Demiryolu Mühendisliği Dergisi. 8, 70-78s.
- Çullu, M., 2009. Antifriz Katkısının Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkisi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 63,79,97,112,119,137,153s.

- Demir, İ., Kibici, Y. ve Ünal, O., 2001. Pomzanın İnşaat Sektöründe Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. 4. Endüstriyel Hammadde Sempozyumu. İzmir. 69-76s.
- Demirdağ, S. ve Gündüz, L., 2003. Volkanik Curufların İnşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. TMMOB. İstanbul 51-58s.
- Demirdağ, S., Gündüz, L. ve Saraç, S., 2004. Volkanik Cüruf Agregaların Yapı Sektöründe Kullanımı. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. TMMOB. İzmir. 286-290s.
- Dikici, T., 2010. Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 6,10,11,14,85-87s.
- Dinçer, A., 2013. Pomza, Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 5,71s.
- Dinçer, R. ve Çağatay, İ. H., 2004. Pomza ile Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 19(2), 247-260s.
- Doğan, Z. M., 2012. Limonit ve Siderit Agregalarının Ağır Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 5s.
- Dorum, A. ve Yıldız, K., 2011. Yüksek Dayanımlı Betonlarda Pomza ve Zeolitin Kullanılabilirliği. İMO Teknik Dergi. 5335-5340s.
- Düzgün, O. A., 2001. Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 70,91,99s.
- Engin, A., 2016. Bitlis Yöresi Pomzasının Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Mineral Katkı Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 4,50-52s.
- Engin, C., 2018. Farklı Tane Boyutlu Genleştirilmiş Perlit Agregası ile Üretilen Ultra Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Van. 1,2,61,62s.
- Erdoğan, T. Y., 2013. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Ankara.213-216,428-430,436,437,456,579,611,617s.
- Erdoğan, Ş., Kandil, U. ve Nayır, S., 2015. Farklı Oranlarda Uçucu Kül İkame Edilerek Üretilen Betonların Klor Geçirimsizliklerinin Belirlenmesi. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 59-70s.

- Eser, H. ve Turanlı, L., 2015. Ham Perlit Agregası ve Yüksek Hacimde Perlit Tozu İçeren Kendiliğinden Yerleşen Yüksek Performanslı Hafif Beton. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 141-152s.
- Esmailzadeh, A., 2013. Mineral Katkılı Hafif Betonlarda Sülfat Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 5,87-88s.
- Gökçe, H. S., 2010. Hafif Beton Üretiminde Ham ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 4,34s.
- Gökçe, H. S., Durmuş, G. ve Şimşek, O., 2010. Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Su/Çimento Üzerindeki Etkileri. Politeknik Dergisi. 13(1), 55-63s.
- Gönen, T., 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 4,11,67,68s.
- Gönen, T. ve Yazıcıoğlu, S., 2015. Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Donma-Çözülme Direnci. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 191-202s.
- Görhan, G. ve Şimşek, O., 2011. Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Pirinç Kabuğu Külünün Etkisi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 7(1), 107-117s.
- Güçlüer, K., 2011. Uçucu Külden Üretilen Silis Dumanı Katkılı Gazbeton Örnekleri Üzerine Kür Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon. 1,61,62s.
- Gündüz, L., 2001. Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir. 59-68s.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M. ve İsker, M., 2006. Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar ile Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. İstanbul.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M. ve Yorgun, S., 2006. Genleşmiş Kilin Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Kil Bilim ve Teknoloji Dergisi. 1(2), 43-49s.
- Güner, M. S. ve Süme, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton. Aktif Yayınevi. Erzurum. 94,136,138s.
- Gürkan, A., 2006. Pomza ve Zeolit Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 4,84-87s.

- İnel, İ., Aslan, C. ve Ulusoy, G., 2001. Pomzalı Betonların Refrakter Amaçlı Kullanımı. 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. MTA Genel Müdürlüğü. Ankara. 221-225s.
- Kalaycı, F., 2016. Perlit Esaslı Isı Yalıtım Malzemesi üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 1,129,130s.
- Kaldı, C., 2011. Taşıyıcı Hafif Beton Tasarımı ve Çok Katlı Binalarda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 5,20,21,29,174s.
- Kamanlı, M. ve Balık, F. S., 2003. Beton Teknolojisi. Atlas Yayın Dağıtım. İstanbul. 77s.
- Karagöl, F., 2013. Antifriz Katkıların Soğuk Havada Dökülen Beton Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 75-78s.
- Karakoç, M. B., 2010. Hafif Agreganın ve Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Yüksek Dayanımlı Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisinin İncelenmesi ve Modellenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 12s.
- Keskiner, E., 2016. Bitlis Pomzası ile Kendiliğinden Yerleşen Fiber Takviyeli Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bitlis. 4s.
- Khanjarkhani, A., 2014. Ham Perlit Agregası ile Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı (H₂SO₄, HNO₃). Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 4,87,88s.
- Kocaman, B. ve Okuroğlu, M., 2002. Dozaj ve Agreganın Granülometrisinin Hafif Betonların Isı İletkenliğine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 33(3), 317-321s.
- Koç, M. E., 2012. Hava Sürüklenmiş Betonların Donma-Çözülme Dayanımları ve Görüntü İşleme Tekniği ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Niğde. 3,8,11,12,97-99s.
- Koçkal, N. U. ve Özturan, T., 2007. Sinterleme Sıcaklığının Uçucu Kül Hafif Agregaların Özelliklerine Etkisi. 7. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi. İstanbul. 133-144s.
- Koluçolak, M., 2012. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Beton Boruların Tepe Yükü Dayanımları ve Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 1,95,96s.

- Kotan, T., 2009. Pasinler–Demirdöven Pomzası ile Üretilen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerine Atmosferik Basıncılı Buhar Kürünün Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 12,28,29,32,69s.
- Kozak, M. ve Ünal, O., 2010. Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 6(2), 17-30s.
- Mehrzad, M. Y., 2013. Hasankale Pomzasından Alkali Aktivasyon Yöntemiyle Geopolimer Çimentosunun Üretilebilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 4,35-37,187-189s.
- Mukhlif, S. A., 2013. Volkanik Pomza Tozunun Yalın ve Silis Dumanı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gaziantep. 7s.
- Nevruz, B., 2016. Çeşitli Hafif Agregalarla Üretilen Harçların Fiziksel, Mekanik ve Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Antalya. 70,71s.
- Orcay, E. A., 2010. Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı İletkenlik Katsayıları. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 15,53,54s.
- Öz, H. Ö., Yücel, H. E., Kömür, S. ve Güneş, M., 2017. Bazik Pomzanın Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkisi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 6(1), 90-97s.
- Özkul , H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M. ve Uyan, M., 2004. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği. İstanbul. 90,92s.
- Öztürk, M., 2012. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ. 4,37,38s.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton . Teknik Kitaplar Yayınevi. İstanbul.322s.
- Sallı Bideci, Ö., Bideci, A., Yıldırım, H., Oymael, S. ve Subaşı, S., 2015. Kolemanit Kaplı Pomza Agregalarla Üretilen Hafif Betonlarda Klorür Geçirimsizliği. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 237-244s.
- Serin, G., Çankıran, O., Başyigit, C., Taş, H. H. ve Fenkli, M., 2007. Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Teknolojik Araştırmalar Dergisi. 1, 15-22s.
- Sevinç, A. H., 2011. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların ve Betonların Mühendislik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
Kahramanmaraş. 5,140,141s.

Shoaei, M., 2013. Hafif Betonda Tuz Etkisi ($MgCl_2$, NaCl). Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 31s.

Sönmez, C., 2005. Hafif Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Kür Şartlarının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 6,36,37s.

Subaşı, S., 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 24(3), 559-567s.

Şahin, M., Mahyar, M. ve Erdoğan, S., 2015. Afşin Elbistan Uçucu Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İçeren Çimentosuz Bağlayıcılar Hazırlanması. 9. Ulusal Beton Kongresi TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Antalya. 181-190s.

Şahin, R., 1996. Kocapınar Pomzası ile Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 2,67,69,102-104s.

Şahin, S., Karaman, S. ve Örüng, İ., 2007. Atık PVC Katkılı Hafif Betonların Özellikleri ve Tarımsal Yapılarda Kullanım Olanakları. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. 4(2), 137-144s.

Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş. ve Sönmez, R., 2003. Agregata Türünün Betonun Donma - Çözülme Dayanıklılığına Etkisi. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. İstanbul. 43-50s.

Şimşek, O., 2007. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş. Ankara. 25,26,142,143,152,155s.

Taşkın, V., 2016. Bitlis Pomzası ile Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bitlis. 4,99s.

Tohumcu, İ. ve Bingöl, F., 2013. Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 15(2), 31-44s.

Tolğay, A., Yaşar, E. ve Erdoğan, Y., 2004. Nevşehir Pomzasının Agregata Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir. 365-354s.

Topçu, İ. B. ve Canbaz, M., 2004. Silis Dumanlı Betonların Donma-Çözülme Etkisinin İncelenmesi. Beton 2004 Kongresi. Türkiye Hazır Beton Birliği. İstanbul. 367-375s.

- Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T. ve Kahraman, E., 2015. Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Yüksek Fırın Cürufunun Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi. 9. Ulusal Beton Kongresi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. 49-58s. Antalya.
- TS 500., 2000. Betonarma Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 75s.
- TS 802., 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 30s.
- TS 2511., 2017. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 9s.
- TS 9773., 1992. Diyatomit-Isı Yalıtımında Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 9s.
- TS 11746., 1995. Beton Kimyasal Katkı Maddeleri- Beton Antifrizi (Soğuk Havada Taze Beton ve Harcı Donmaya Karşı Koruyucu Madde). Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 206-1., 2002. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 69s.
- TS EN 1097-6., 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 12350-7., 2019. Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini-Basınç Metotları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 12390-3., 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 12390-6., 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 12390-8., 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Türkel, S. ve Kadiroğlu, B., 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 13(3), 353-359s.

- Türkmen, İ., 1997. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 2,76,77s.
- Ulusoy, A., 2008. Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 3,137,138s.
- Ulusoy, G., 2004. Pomzanın İzole Monolitik Malzeme İmalinde Kullanılması. MTA Dergisi. (129), 89-96s.
- URL-1: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nuclear_Power_Plant_Cattenom_a.png (16.07.2019)
- URL-2: <https://tr.pinterest.com/pin/146930006567284165/> (16.07.2019)
- URL-3: <http://www.aviewoncities.com/buildings/sydney/australiasquare.htm>(16.07.2019)
- URL-4: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/perlit_pomza.jpg (16.07.2019)
- URL-5: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/perlit> (16.07.2019)
- URL-6: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/diatomit> (16.07.2019)
- URL-7: <http://ybm.comu.edu.tr/v4/koleksiyon/822/Tuf> (16.07.2019)
- URL-8: http://www.akcansa.com.tr/docs/20120216160651_soguk-hava.pdf (16.07.2019)
- Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 7,14,15,20s.
- Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., 2006. Diyatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması. Politeknik Dergisi. 9(1), 65-70s.
- Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., 2005a. Erken Yaşlardaki Beton Üzerinde Buzun Etkisi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 1, 37-44s.
- Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., 2005b. Yapıların Zati Yükünün Azaltılması İçin Diyatomit Üretilen Hafif Blok Elemanların Özelliklerinin Araştırılması. Deprem Sempozyumu. Kocaeli. 51-56s.

- Ünal , O., Demir, İ. ve Uygunoğlu, T., 2003. Pomza ve Diyatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. 3. Kırmataş Sempozyumu. TMMOB. İstanbul. 107-114s.
- Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 2004. Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması. Beton 2004 Kongresi. Türkiye Hazır Beton Birliğı. İstanbul. 376-386s.
- Yalçın, H. ve Gürü, M., 2006. Çimento ve Beton. Palme Yayıncılık. Ankara.
- Yaltay, N., 2015. Kolemanit Katkılı Çimento ile Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 5,99-102s.
- Yanar, G., 2010. Lignoselülozik Talaş Katkılı Hafif Betonların Dayanım ve Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 3,53s.
- Yaşar, E. ve Erdoğan, Y., 2005. Nevşehir Pomzasından Üretilen Briketlerin Isı ve Ses İletkenlikleri Açısından Değerlendirilmesi. Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı. IMCET. İzmir. 375-384s.
- Yazıcıoğlu, S. ve Bozkurt, N., 2006. Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 21(4), 675-680s.
- Yazıcıoğlu, S. ve Demirel, B., 2006. Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 18(3), 367-374s.
- Yegin, Y., 2009. Donma-Çözölme Hasarına Hafif Agreganın, Hava Sürükleyici Katkının ve Donma-Çözölme Yönteminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 1,110,111s.
- Yıldırım, A. N., 2007. Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya. 1,2,97,98s.
- Yıldız, S., Balaydın, İ. ve Ulucan, Z., 2007. Pirinç Kabuğı Külünün Beton Dayanımına Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 19(1), 85-91s.
- Yılmaz, B., 2009. Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 15s.

- Yolcu, C., 2018. Yüksek Performanslı Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Pomza Agregaların Kullanılabilirliği, Mekanik Büyüklükleri ve Uygulama Kriterleri. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 13s.
- Yücel, H. E., Öz, H. Ö., Kömür, S. ve Güneş, M., 2017. Asidik Pomza ile Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Özellikleri. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 6(1), 83-89s.
- Zandi, Y., 2012. Taşıyıcı Hafif Betonla Üretilen Yekpare ve Prefabrike Yapı Elemanlarının Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 7,8,11s.



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet YOLCU, 1980 yılında Hatay İlinde doğdu. Lise eğitimine 1994 yılında Antakya Merkez 23 Temmuz Lisesinde başlayıp, 1997 yılında lise eğitimini tamamlamıştır. Üniversite eğitimine 2000 yılında başlayıp, 2005 yılında Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünden yüksek lisans derecesiyle mezun olmuştur. Ardından vatani görevini tamamlamıştır. T.C. Milli Eğitim Bakanlığına bağlı çeşitli devlet okullarında ve özel eğitim kurumlarında öğretmen olarak görev almıştır. 2011 yılında Gümüşhane Üniversitesinde memuriyete başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun olmuştur. 2016 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.