



**FINDIK KABUĞU KÜLÜNÜN
PUZOLAN MALZEME OLARAK KULLANILMASI
İLE ÜRETİLEN BETONUN TARIMSAL
YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Murat ÖZOCAK

Doktora Tezi

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Can Burak ŐŐŐMAN
2021**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**FINDIK KABUĞU KÜLÜNÜN
PUZOLAN MALZEME OLARAK KULLANILMASI
İLE ÜRETİLEN BETONUN TARIMSAL
YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Murat ÖZOCAK

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Can Burak ŞİŞMAN

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

FINDIK KABUĞU KÜLÜNÜN PUZOLAN MALZEME OLARAK KULLANILMASI İLE ÜRETİLEN BETONUN TARIMSAL YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Murat ÖZOCAK

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Can Burak ŞİŞMAN

Dünyanın fındık üretiminin yaklaşık %70'ine sahip olan ülkemizde fındık üretimi sonrasında atık olarak büyük miktarda kabuk ortaya çıkmaktadır. Bu kabuklar ısı enerjisi üretmek amacıyla direk yakılarak değerlendirilmekte olup, daha yüksek ısı eldesi için briketlenerek de yakılabilmektedir. Her iki kullanım sonucunda tarımsal kaynaklı bir atık değerlendirilse de yanma sonucunda ortaya çıkan kül yeni bir atığı oluşturmaktadır. Uçucu küller gibi fındık kabuğu külleri de içerdikleri yüksek miktardaki silis nedeniyle puzolanik özellik göstermekte ve bu nedenle inşaat sektöründe özellikle beton üretiminde bağlayıcı ile yer değiştirmeli olarak kullanılabilir. Bu çalışmada tarımsal bir atık olan fındık kabuğu ve fındık kabuğu briketinin yakılması ile oluşan külün puzolan malzeme olarak beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması ve bu betonların tarımsal yapılar açısından yeterliliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, beton üretiminde çimento ile %5, 10, 15 ve 20 oranlarında yer değiştirmeli olarak fındık kabuğu külü ve fındık kabuğu briket külü kullanılmıştır. Farklı oranlarda kül kullanılarak üretilen beton örneklerinin taze beton ve sertleşmiş beton özellikleri farklı kür süreleri için birim ağırlık ve hava içeriği; sertleşmiş beton özellikleri olarak farklı kür süreleri için birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme oranı, dinamik elastisite modülü, donma-çözülme deneyi, permeabilite, ses geçiş hızı ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca her katkı oranı için SEM görüntüleri çekilmiş ve mikro yapıları incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre karışıma giren kül miktarına bağlı olarak beton örneklerinin birim ağırlıkları her iki kül için de azalmıştır. Fındık kabuğu külü için birim ağırlıklardaki bu azalma karışımdaki kül oranına bağlı olarak %4 ile %13,67 arasında, fındık kabuğu briket külü için ise %5,30 ile %14,93 arasında değişmiştir. Çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılan her iki fındık kabuğu külü kullanımı için de basınç dayanımları kür süresi ile doğru orantılı olarak artmıştır. Ancak karışıma giren kül miktarlarına bağlı olarak basınç dayanımları azalmış ve bu azalma fındık kabuğu külü için 33,20 MPa'dan 27,47 MPa'ya, fındık kabuğu briket külü için ise 33,20 MPa'dan 26,10 MPa'ya düşmüştür. Üretilen beton örneklerinin ısı yalıtım özelliklerinin kül oranıyla arttığı ve %20 fındık kabuğu külü katkılı örneklerde %33, briket külünde ise %39 oranında iyileşme sağlandığı belirlenmiştir. Sonuç olarak %10' kadar fındık kabuğu külü ve %5'e kadar fındık kabuğu briket külünün puzolan malzeme olarak kullanılması ile üretilen betonlar C25 beton sınıfındadır. Bu betonların tarımsal yapılarda yalıtımı arttırmak, yapı elemanlarının ağırlığını azaltmak ve yapı maliyetini düşürmek amacı ile taşıyıcı, bölme elemanlarında ve döşemelerde kullanılabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Puzolan, Fındık Kabuğu Külü, Fındık Kabuğu Briket Külü, Tarımsal Yapılar.

2021, 104 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

THE INVESTIGATING OF AVAILABILITY IN AGRICULTURAL BUILDINGS OF CONCRETE PRODUCED WITH USING AS POZOLAN MATERIAL OF HAZELNUT SHELL ASH

Murat ÖZOCAK

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Can Burak ŞİŞMAN

In our country, which has approximately 70% of hazelnut production of the world's, shell emerges in a large amount of as waste in after the hazelnut production. These shells are both directly burned for the purpose of generate heat energy and can also be burned by briquetting to obtain higher heat. Although an agricultural waste is evaluated as a result of both uses, the ash generated as a result of burning creates a new waste. Like fly ash, hazelnut shell ash also shows pozzolanic feature due to silica in high amount in content. For this reason, it is a material that can be used interchangeably with binder in especially concrete production in the construction sector. In this study, it was aimed to investigate of usability pozzolanic material in concrete production of ash produced by burning of hazelnut shell and hazelnut shell briquettes which is an agricultural waste as pozzolanic material in concrete production and examine of sufficiency in terms of agricultural structures of these concretes. For this purpose, hazelnut shell ash and hazelnut shell briquette ash were used as displacement in 5,10,15 and 20 % rates with cement in concrete production. In concrete samples produced using with ash in different amounts has been made unit weight and air content tests for different curing times to properties of fresh concrete; Unit weight, compressive strength, splitting tensile strength, water absorption rate, dynamic elasticity module, freeze-thaw test, permeability, sound transmission rate and thermal conductivity tests for different curing times to hardened concrete properties. In addition, SEM images were taken and their microstructure was examined for each additive ratio. According to the results of the research, the unit weights of the concrete samples decreased for both ashes depending on the amount of ash entering to mixture. This reduction in unit weights varied between 4% and 13,67% as depending on the ash ratio in the mixture for hazelnut shell ash and between 5,30% and 14,93% for hazelnut briquette ash. The compressive strength increased as direct proportion with the curing time of both hazelnut shell ash used as a replacement with cement. However, their compressive strength decreased depending on the amount of ash entering the mixture and this decrease has been from 33,20 MPa to 27,47 MPa for hazelnut shell ash, and from 33,20 MPa to 26,10 MPa for hazelnut shell briquette ash. It was determined that with the ash ratio of thermal insulation properties of the produced concrete samples increased and an improvement was achieved by 33% in the samples with 20% hazelnut shell ash and 39% in the briquette ash. As a result, concretes produced by using up to 10% hazelnut shell ash and up to 5% nut shell briquette ash as pozzolan material are in C25 concrete class. It can be said that these concretes can be used in carrier, partition elements and floors in order to increase the waffle in agricultural buildings, reduce the weight of the building elements and reduce the cost of the building.

Key words: Concrete, Pozzolan, Hazelnut Shell Ash, Hazelnut Shell Briquette Ash, Agricultural Structures.

2021, 104 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Fındık (<i>Corylus L.</i>)	4
2.2. Briketleme ve Fındık Kabuğunun Briketlenmesi	7
2.3. Beton.....	13
2.3.1. Çimento.....	16
2.3.2. Agregası.....	16
2.3.3. Su	18
2.3.4. Puzolanlar	19
2.3.4.1. Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Aktivite.....	21
2.3.4.2. Tarımsal Atıkların Puzolanik Özellikleri.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Fındık Kabuğu Külü (FK)	25
3.1.2. Fındık Kabuğundan Üretilen Briketin Külü (FBK).....	27
3.1.3. Çimento.....	29
3.1.4. Agregası.....	30
3.1.5. Su	31
3.2. Yöntem	31
3.2.1. Taze Beton Deneyleri	34
3.2.1.1. Hava İçeriği Deneyi.....	34
3.2.1.2. Birim Ağırlık Deneyi.....	34
3.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	34
3.2.2.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	35

3.2.2.2. Ses Geçiş Hızı Deneyi.....	35
3.2.2.3. Su Emme Deneyi.....	36
3.2.2.4. Donma-Çözünme Deneyi Deneyi.....	36
3.2.2.5. Basınç Dayanımı Deneyi.....	37
3.2.2.6. Yarma Dayanımı Deneyi.....	37
3.2.2.7. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi.....	38
3.2.2.8. Permeabilite'nin (Geçirimsizlik) Belirlenmesi.....	39
3.2.2.9. Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	39
3.2.2.10. SEM Analizi.....	40
3.2.2.11. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Maliyet Analizi.....	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
4.1. FK Katkılı Beton.....	41
4.1.1. Taze Beton Özellikleri.....	41
4.1.1.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	41
4.1.1.2. Hava İçeriği Deneyi.....	42
4.1.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	43
4.1.2.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	43
4.1.2.2. Ses Geçiş Hızı Deneyi.....	44
4.1.2.3. Su Emme Hızı Deneyi.....	46
4.1.2.4. Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	47
4.1.2.5. Donma-Çözünme Deneyi.....	48
4.1.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi.....	50
4.1.2.7. Yarma Dayanımı Deneyi.....	51
4.1.2.8. Permeabilite'nin (Geçirimsizlik) Belirlenmesi.....	53
4.1.2.9. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi.....	54
4.1.3. FK Katkılı Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	55
4.1.4. FK Katkılı Betonların Mikro Yapıları.....	59
4.2. FBK Katkılı Beton.....	60
4.2.1. Taze Beton Özellikleri.....	61
4.2.1.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	61
4.2.1.2. Hava İçeriği Deneyi.....	61

4.2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	62
4.2.2.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	62
4.2.2.2. Ses Geçiş Hızı Deneyi.....	63
4.2.2.3. Su Emme Hızı Deneyi.....	65
4.2.2.4. Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	66
4.2.2.5. Donma-Çözünme Deneyi.....	68
4.2.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi.....	69
4.2.2.7. Yarma Dayanımı Deneyi.....	70
4.2.2.8. Permeabilite'nin (Geçirimsizlik) Belirlenmesi.....	72
4.2.2.9. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi.....	73
4.2.3. FBK Katkılı Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	74
4.2.4. FBK Katkılı Betonların Mikro Yapıları.....	78
4.3. Araştırmada Kullanılan Puzolan Malzemelerin Maliyet Analizi.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR.....	86
EKLER	93
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Türkiye'nin	findık	ekim	alanı	ve	üretim	miktarları.....	2
Çizelge 2.1.	Türkiye	tarımsal	atık	potansiyeli	ve	enerji	karşılıkları.....	8
Çizelge 3.1.	FK	fiziksel	ve	kimyasal	özellikleri.....			27
Çizelge 3.2.	FBK	fiziksel	ve	kimyasal	özellikleri.....			28
Çizelge 3.3.	Çimentonun	kimyasal	ve	fiziksel	özellikleri.....			29
Çizelge 3.4.	Agregaların	fiziksel	ve	kimyasal	özellikleri.....			30
Çizelge 4.1.	FK katkıli	örneklerin	birim	ağırlıklarının	varyans	analizi.....		44
Çizelge 4.2.	FK katkıli	örneklerin	ses	geçiş	hızlarının	varyans	analizi.....	45
Çizelge 4.3.	FK katkıli	örneklerin	su	emme	oranlarının	varyans	analizi.....	47
Çizelge 4.4.	FK katkıli	örneklerin	dinamik	elastisite	değerlerinin	varyans	analizi.....	48
Çizelge 4.5.	FK katkıli	örneklerin	donma	çözünme	dayanımlarının	varyans	analizi.....	49
Çizelge 4.6.	FK katkıli	örneklerin	basınç	dayanımlarının	varyans	analizi.....		51
Çizelge 4.7.	FK katkıli	örneklerin	yarma	dayanımlarının	varyans	analizi.....		52
Çizelge 4.8.	FK katkıli	örneklerin	permeabilite	değerlerinin	varyans	analizi.....		54
Çizelge 4.9.	FK katkıli	örneklerin	ısı	iletkenliklerinin	varyans	analizi.....		55
Çizelge 4.10.	FBK katkıli	örneklerin	birim	ağırlıklarının	varyans	analizi.....		63
Çizelge 4.11.	FBK katkıli	örneklerin	ses	geçiş	hızlarının	varyans	analizi.....	64
Çizelge 4.12.	FBK katkıli	örneklerin	su	emme	oranlarının	varyans	analizi.....	66
Çizelge 4.13.	FBK katkıli	örneklerin	dinamik	elastisite	değerlerinin	varyans	analizi.....	67

Çizelge 4.14. FBK katkılı örneklerin donma çözünme dayanımlarının varyans analizi.....	68				
Çizelge 4.15. FBK katkılı örneklerin basınç dayanımlarının varyans analizi.....	70				
Çizelge 4.16. FBK katkılı örneklerin yarma dayanımlarının varyans analizi.....	71				
Çizelge 4.17. FBK katkılı örneklerin permeabilite değerlerinin varyans analizi.....	72				
Çizelge 4.18. FBK katkılı örneklerin ısı iletkenliklerinin varyans analizi.....	74				
Çizelge 4.19. Malzeme fiyatları.....	80				birim
Çizelge 4.20. Oluşturulan örneklerin hesaplamaları.....	80				maliyet

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil	2.1.	Fındık	(Corylus L.)	5
Şekil	2.2.	Tarımsal atıklardan üretilen briket		9
Şekil	2.3.	Puzolanların ilk çıkış bölgesi		19
Şekil	3.1.	FK temin edilen Kastamonu yöresi		25
Şekil	3.2.	FK üretimi		26
Şekil	3.3.	FK analizi		24
Şekil	3.4.	FBK temin edilen Düzce yöresi		27
Şekil	3.5.	Fındık kabuğundan üretilen briket ve yakılma sonucu oluşan küller		27
Şekil	3.6.	FBK analizi		28
Şekil	3.7.	Agrega tane dağılım eğrisi (granülometre eğrisi)		30
Şekil	3.8.	Araştırmada kullanılan laboratuvar tipi beton mikseri		31
Şekil	3.9.	Araştırmada kullanılan FK		32
Şekil	3.10.	Kalıplama işlemi		32
Şekil	3.11.	Beton örneklerinin dökümü ve kür		33
Şekil	3.12.	Taze beton hava içeriği deneyi		34
Şekil	3.13.	Sertleşmiş beton birim ağırlık deneyi		35
Şekil	3.14.	Örnekler üzerinde ses geçiş hızının ölçümü		36
Şekil	3.15.	Örnekler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deneyi		37
Şekil	3.16.	Örnekler üzerinde uygulanan yarma dayanımı deneyi		38

Şekil	3.17.	Örneklerin	ısı	iletkenlik	katsayısının			
ölçümü.....						38		
Şekil	3.18.		Permeabilite		(geçirimsizlik)			
deneyi.....						39		
Şekil	4.1.	FK	katkılı	taze	beton	örneklerinin	birim	ağırlık
değişimi.....								42
Şekil	4.2.	FK	katkılı	taze	beton	örneklerinin	hava	içeriği
değişimi.....								42
Şekil	4.3.	FK	katkılı		örneklerin		birim	ağırlık
değişimi.....								43
Şekil	4.4.	FK	katkılı	örneklerin	ses	geçiş	hızı	
değişimleri.....								45
Şekil	4.5.	FK	katkılı	örneklerin		su	emme	
değişimleri.....								46
Şekil	4.6.	FK	katkılı	örneklerin		dinamik	elastisite	
değişimleri.....								48
Şekil	4.7.	FK	katkılı	örneklerin	donma	çözünme	sonrası	dayanım
değişimleri.....								49
Şekil	4.8.	FK	katkılı	örneklerin		basınç	dayanımı	
değişimleri.....								50
Şekil	4.9.	FK	katkılı	örneklerin		yarma	dayanımı	
değişimleri.....								52
Şekil	4.10.	FK	katkılı	örneklerin		permeabilite		
değişimleri.....								53
Şekil	4.11.	FK	katkılı	örneklerin	ısı	iletkenlik	katsayısı	
değişimleri.....								54
Şekil	4.12.	FK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile	basınç
ilişki.....								dayanımı
								arasındaki
								56
Şekil	4.13.	FK	katkılı	betonların	basınç	dayanımı	ile	dinamik
ilişki.....								elastisite
								modülü
								arasındaki
								57
Şekil	4.14.	FK	katkılı	betonların	basınç	dayanımı	ile	ses
ilişki.....								geçiş
								hızı
								arasındaki
								57
Şekil	4.15.	FK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile	permeabilite
ilişki.....								değerleri
								arasındaki
								58
Şekil	4.16.	FK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile	ısı
ilişki.....								iletkenlik
								katsayısı
								arasındaki
								58
Şekil	4.17.	FK	katkılı	betonların	su	emme	ile	permeabilite
ilişki.....								arasındaki
								59

Şekil	4.18.	FK	katkılı	örneklerin	mikro		
yapıları.....						60	
Şekil	4.19.	FBK	katkılı	taze beton	örneklerinin	birim	ağırlık
değişimi.....						61	
Şekil	4.20.	FBK	katkılı	taze beton	örneklerinin	hava	içeriği
değişimi.....						62	
Şekil	4.21.	FBK	katkılı	örneklerin	birim	ağırlık	
değişimi.....						62	
Şekil	4.22.	FBK	katkılı	örneklerin	ses	geçiş	hızı
değişimleri.....						64	
Şekil	4.23.	FBK	katkılı	örneklerin	su	emme	
değişimleri.....						65	
Şekil	4.24.	FBK	katkılı	örneklerin	dinamik	elastisite	
değişimleri.....						67	
Şekil	4.25.	FBK	katkılı	örneklerin	donma	çözünme	sonrası
değişimleri.....						68	dayanım
Şekil	4.26.	FBK	katkılı	örneklerin	basınç	dayanımı	
değişimleri.....						69	
Şekil	4.27.	FBK	katkılı	örneklerin	yarma	dayanımı	
değişimleri.....						71	
Şekil	4.28.	FBK	katkılı	örneklerin	permeabilite		
değişimleri.....						72	
Şekil	4.29.	FBK	katkılı	örneklerin	ısı	iletkenlik	katsayısı
değişimleri.....						73	
Şekil	4.30.	FBK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....
						75	
Şekil	4.31.	FBK	katkılı	betonların	basınç	dayanımı	ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....
						75	
Şekil	4.32.	FBK	katkılı	betonların	basınç	dayanımı	ile ses geçiş hızı arasındaki ilişki.....
						76	
Şekil	4.33.	FBK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile permeabilite değerleri arasındaki ilişki...77
						77	
Şekil	4.34.	FBK	katkılı	betonların	birim	ağırlık	ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki...77
						77	
Şekil	4.35.	FBK	katkılı	betonların	su	emme	ile permeabilite arasındaki ilişki.....
						78	
Şekil	4.36.	FBK	katkılı	örneklerin	mikro		
yapıları.....						79	
Şekil	4.37.	FK	katkılı	örneklerin	toplam	maliyet	
tutarları.....						81	

Şekil 4.38. FBK katkılı örneklerin toplam maliyet tutarları
.....81

SİMGELER ve KISALTMALAR

Wa-%	: Agregaların su emme oranı
XRD	: X-Ray Diffraction
SEM	: Scanning electron microscope
R ²	: Korelasyon katsayısı
fc	: Basınç dayanımı
fct	: Yarmada çekme dayanımı
ρp	: Agregaların kuru tane yoğunluğu tayini
ρb	: Agregaların gevşek yığın yoğunluğunun tayini
ρssd	: Agregaların yüzey kuru suya doymuş tane yoğunluğu tayini
v	: Boşluk hacminin tayini
A	: Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı
ASTM	: Amerikan standardı
ŞAHİT	: Kül katkısı olmayan örnek
FK	: Fındık kabuğu külü
FBK	: Fındık kabuğundan üretilen briket külü
FK-5	: %5 fındık kabuğu külü katkılı örnek
FK-10	: %10 fındık kabuğu külü katkılı örnek
FK-15	: %15 fındık kabuğu külü katkılı örnek
FK-20	: %20 fındık kabuğu külü katkılı örnek
FBK-5	: %5 fındık kabuğu briket külü katkılı örnek
FBK-10	: %10 fındık kabuğu briket külü katkılı örnek
FBK-15	: %15 fındık kabuğu briket külü katkılı örnek

FBK-20	: %20 fındık kabuğu briket külü katkılı örnek
d	: Numunenin seçilen en kesit boyutu
Ed	: Dinamik elastisite modülü
F	: En büyük yük
G1	: Etüv kurusu ağırlığı
G2	: Kuru yüzey doymun ağırlığı
L	: Numune boyu
LSD	: En küçük önemli fark
m	: Poisson oranı
P	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
TSE	: Türk standardı
V	: Ses hızı
t	: Ses geçiş süresi
Mtoe	: Milyon ton petrol eşdeğeri enerji
KWh	:Kilowatt saat

TEŞEKKÜR

Hazırladığım doktora tezi çalışmamın ilk aşamasından son aşamasına kadar her zaman ilgi ve destekleri ile yanımda olan danışman hocam Prof. Dr. Can Burak ŞİŞMAN Hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Örneklerin oluşturulması ve deneysel çalışmalarımda Yapı Malzemeleri Laboratuvarını kullanmamı sağlayan Kastamonu D.S.İ 23. Bölge Müdürlüğü'ne, Biyosistem Mühendisliği Emekli Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ahmet Nedim YÜKSEL Hocama, Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Aylin AKYILDIZ Hocama en derin teşekkürlerimi sunarım

Bugünlerime ulaşmamı sağlayan, her zaman bana destek olan, üzerimdeki haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim annem Nilgöl ÖZOCAK ve babam Hüseyin ÖZOCAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mart, 2021

Murat ÖZOCAK
Öğretim Görevlisi

1. GİRİŞ

Yaşamın başladığı günden bugüne insanlığın en önemli sorunu beslenme ihtiyacını karşılamak amacıyla gıda maddeleri üretim ve erişim sorunudur. Tarımsal üretim, tohum ile toprağı kullanarak bitkisel ve hayvansal ürünler elde ederek insanların en temel ihtiyacı olan besin maddelerini sağlamaktadır. Bu bağlamda, insanlığın devamı öncelikle tarımsal üretimin sağlanması ile mümkün olmaktadır (Acar, 2003; Özgüven, 1977).

Tarımsal faaliyetler sonucu üretilen besin maddeleri içerikleri bakımından farklılık göstermektedir. Bazılarında yüksek olan maddeler bazılarında daha düşüktür. Fındık içerdiği besin maddeleri açısından zengin besinler sınıfında yer almaktadır. Bu bakımdan insan beslenmesi açısından çok önemli olan fındığın günde 100 gr. kuru meyvesi tüketildiğinde alınması gereken günlük proteinin %25'ini, E vitamininin %100'ünü, B1 vitamininin %30'unu, B2 vitamininin %8'ini, B6 vitamininin %10'unu, demirin %20'sini, kalsiyumun %25'ini, çinkonun %14'ünü ve magnezyumun da %50'sini sağlamış olur. Fındık, bitkiler sistematığında Fagales takımı içerisindeki Betulaceae familyasında bulunan Corylus cinsi içerisinde yer almaktadır (Açkurt, 1996).

Ülkemiz açısından da en önemli tarımsal ürünlerin başında gelen fındık, genel olarak bakıldığında, ülkemizde 16 ilde yetiştirilmekte olup, bu illerdeki üreticilerin tek gelir kaynağı fındık yetiştiriciliğidir. Ilıman ve nemli iklimleri seven fındık, büyük su kaynakları yakınlarında sadece belirli bölgelerde yetiştirilebilmektedir. Türkiye koşullarında bu gerekliliği en iyi şekilde karşılayan bölge Karadeniz Bölgesi kıyı kesimleridir. Fındığın yetiştiricilik alanını sınırlandıran en önemli etmen ise sıcaklık miktarıdır. Yağışın olmadığı ılıman iklim koşulları bulunan bölgelerde fındık yetiştiriciliği, ancak sulama ile mümkün olabilmektedir (Balık ve ark, 2016). Ülkemiz koşullarında, tescilli alınmış 18 farklı fındık çeşidinin tarımsal üretimi yapılmaktadır (Anonim, 2018-a).

Ülkemizin fındık üretim alanları ve miktarlarının yıllara göre değişimi Çizelge 1.1.'de verilmiştir. Türkiye koşullarında ortalama 650.000 dönüm alanda yaklaşık 400.000 aile işletmesinin üreticiliğiyle 350.000 - 800.000 ton arasında fındık meyvesi yetiştiriciliği yapılmaktadır. Hasat edilen fındığın 450.000-550.000 tonu diğer ülkelere ihraç edilmekte olup, dünya fındık üretiminin yaklaşık %70'i ülkemiz tarafından karşılanmaktadır. Dünya fındık üretiminde ilk sırada olan ülkemiz koşullarında Karadeniz kıyı bölgesi dışında, denizden 60 km uzunluğundaki iç bölgelerde de fındık yetiştirilmektedir. Yetiştirilen fındık

genelde 1.300 m rakımlı bölgelerden temin edilebilmekte olup, ekonomik açıdan 750-800 m rakımda en iyi koşullar sağlanmaktadır. En iyi koşulların sağlandığı bölgelerde en düşük sıcaklık -8 °C ile -10 °C aralığında, en yüksek sıcaklık ise 36-37 °C aralığındadır. Yıllık olarak değerlendirildiğinde, bu bölgelerdeki sıcaklık ortalaması 13-16 °C aralığında değişmektedir. Yağış isteği açısından yıl içerisinde ay bazında dengeli dağılımın sağlandığı ve yıllık yağış toplamının 700 mm üzerinde olduğu yerlerde fındığın yağış isteği karşılanabilmektedir. Yağış dışında, özellikle Haziran ve Temmuz aylarında %60 ve üzeri oransal nem bulunması fındık yetiştiriciliğinde optimum koşulların sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir (Yaşaroğlu, 2017).

Çizelge 1.1. Türkiye'nin fındık ekim alanı ve üretim miktarları (Anonim, 2018-b)

Yıllar	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Yıllar	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)
2002	560.000	600.000	2011	696.964	430.000
2003	600.000	480.000	2012	701.407	660.000
2004	650.000	350.000	2013	702.144	549.000
2005	655.000	530.000	2014	701.141	450.000
2006	666.226	661.000	2015	702.628	646.000
2007	663.817	530.000	2016	705.445	420.000
2008	663.192	800.791	2017	705.500	670.000
2009	642.866	500.000	2018	705.510	550.000
2010	667.865	600.000	2019	705.525	590.000

Yetiştiriciliği yapılan bölgedeki fındık miktarına göre fındık kabuğunun bulunabilirliği de değişmektedir. Türkiye koşullarında, ortalama her yıl 600.000 ton fındık üretimine göre kabuklu şekilde hasat edilen fındığın kabuk miktarının yarı yarıya oluşacağı göz önüne alındığında, her yıl yaklaşık 300.000 ton fındık kabuğu elde edilmektedir (Hoşgün ve Bozan, 2017). Doğu Karadeniz Bölgesinde fındık veriminin düşük olduğu dönemleri örnek aldığımızda bile Düzce - Sakarya bölgesinde elde edilen fındık kabuğu miktarı 150.000 tondan daha aşağı olmamaktadır (Anonim, 2018-b).

Gelişmekte olan ülkelerde, tarımsal kaynaklı biyokütle atıkları büyük miktarlarda oluşmaktadır ve enerji sağlamaları açısından büyük önem arz etmektedir. Bu atıkların doğrudan kullanımlarının sonucunda nakliye ve depolama gibi problemlerin yanı sıra çevre kirliliği de oluşturmaktadır (Grover ve Mishra, 1996). Bu bakımdan, tüm dünyada tarımsal atıkların çeşitli değerlendirme yolları geliştirilmektedir. Ülkemiz koşullarında ise, tarımsal

atıkların değerlendirme yolları arasında yakıt olarak değerlendirme yöntemi ön plana çıkmaktadır (Acaroğlu ve Haciseferoğulları 2014).

Fındık yetiştiriciliği ile fındık meyvesinin elde edilmesi sonrasında tarımsal atık madde olarak oluşan ve biyokütle kaynaklarından olan fındık kabuğu da, genellikle yetiştiriciliği yapılan bölgelerde yüksek kalorili (4.100–4.400 cal/gr) olması sebebi ile çok değerli bir ısınma maddesi olarak kullanılmaktadır. Almanya, İtalya ve ABD gibi ölkelerde boya, muşamba ve kontralit malzeme yapımında fındık kabuğundan yararlanılmaktadır. Bu kullanım alanları dışında fındık kabuğunda %25 oranında bulunan pentosan maddesi ile petrokimya alanında ara ürün olarak kullanımı mümkün olmaktadır. Ayrıca kömürleştirme işlemi sonrası fındık kabuğu kaynaklı aktif – sinai kömür ve briket kömürü elde edilebilmektedir (Topçuoğlu, 2008).

Kırsal konutlar, bitkisel üretim yapıları, ürün koruma yapıları, hayvansal üretim yapıları, ürün değerlendirme ve pazarlama yapıları gibi yapılar tarımsal işletmelerde bulunan yapılar olarak sıralanmaktadır. İçme ve kullanma suyu tesisleri, atık su arıtma tesisleri, sulama tesislerindeki sanat yapıları, tarımsal amaçlı yollar, toprak ve su depolama yapıları ile genel anlamda tarımsal üretim amaçlı tüm yapılar da tarımsal yapılar olarak değerlendirilmektedir. (Balaban ve şen, 1988).

Bu çalışmanın amacı, ölkemizde yüksek miktarlarda üretilen önemli tarımsal ürünlerimizden fındık meyvesinin atığı konumunda olan fındık kabuğunun ısınma ve enerji amacıyla yakılması sonrası ortaya çıkan bir atık olan külün puzolan malzeme olarak beton üretiminde çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve üretilecek bu betonun tarımsal yapılar için yeterliliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla konut, restoran, fırın gibi noktalarda yakılan fındık kabuğu ile fındık kabuğundan üretilen yakıt briketin yakılması ile ortaya çıkan atık külleri toplanarak beton üretiminde puzolan malzeme olarak kullanılmıştır. Böylece tarımsal bir atık ve bu atıktan üretilen bir ürünün atığı konumunda olan küllerin çevresel etkileri bertaraf edilerek faydalı bir ürüne dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Fındık (*Corylus L.*)

İnsan beslenmesi açısından büyük önem taşıyan fındığın yenilebilen iç kısmı meyvenin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. İç fındık oransal olarak değerlendirildiğinde %2-6,5 su, %1-3 kül, %10-24 protein, %50-73 yağ, %10-22 karbonhidrat, %1-3 oranında selüloz içermektedir (Baş ve ark, 1986). Potasyum, magnezyum, kalsiyum, selenyum, bitkisel protein, doymamış yağ asitleri, E ve B vitaminleri fındık içerisinde bulunmaktadır. Ayrıca fındık içerisinde protein, yağ, karbonhidrat ve mineral maddeler de vardır. Fındıkta bulunan doymamış yağın düzeyinin yüksek olması kalp ve damar sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Fitokimyasal maddelerin fındığın zar kısmında yüksek oranda bulunması sonucu güçlü antioksidan özelliği göstermesini ve kanser hastalıklarının engellenmesi açısından büyük faydalar sağlamaktadır (Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017).

Fındık besin grupları içerisinde ilk grupta olmakta olup, et ve benzeri besinler ile aynı sınıftadır (Baysal,1996). Enerji bileşimi açısından ise 100 g fındık tüketildiğinde 634 kalorilik enerji sağlamaktadır. Fındık, bu enerji değeri ile kabuklu, taze ve kurutulmuş meyvelere göre çok daha yüksek bir değere sahiptir. (Baysal, 1993).

Theophrastus (M.Ö. 372-287) yabancı ve kültür fındıkları arasındaki farklılıklar ile ilgili bir çalışma yapmış ve bu çalışmalar sonucunda M.Ö. 400.'lü yıllarda fındığın varlığı bulgusuna ulaşmıştır. Çok eski yıllardan günümüze kadar Anadolu coğrafyasında fındığın varlığının olmasından dolayı en değerli fındık çeşitleri ülkemizde yetişmiştir. Bu durum ekonomik olarak fındık ticaretinin Türkiye'de başlamasını da sağlamıştır (Köksal ve ark, 2006).

Betulaceae familyasının Coryleae alt familyasında bulunan fındık meyvesinde *Corylus Maxima* Mill. (Lambert fındığı), *Corylus Avellane* L. (Adi fındık) ve *Colurna Corylus* L. (Türk fındığı) ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılan en yaygın türlerdir. Günümüz koşullarında çeşitli türlerin melez oluşumları da yetiştirilmeye başlanmıştır (Yavuz, 2013). Adi fındığın yayılış alanı Avrupa ve Anadolu olmakla birlikte Trakya'dan Doğu Karadeniz'e kadar yetiştiriciliği yapılmaktadır. Yabancı oluşumları da bulunan Lambert fındığı Balkan yarımadasının kuzey bölgesinde, Anadolu'nun kuzeydoğusunda, ve İtalya'da yayılış alanı

bulmuştur. Kan fıncığı olarak da isimlendirilen Lambert fıncığının meyvesi oldukça lezzetlidir. Türk fıncığının ise genel yayılış alanı Makedonya, Trakya ve Karadeniz Bölgesidir (Köksal ve ark, 2006). Fındık meyvesi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Fındık (*Corylus L.*)

Fındık uzun, sivri ve yuvarlak olarak çeşitlenmektedir. Uzun fındıklara badem fındıklar da denilmektedir. Ticari olarak uluslararası pazarlarda çok büyük değeri olmayıp, gösterişli olmalarının aksine kalitesiz fındıklardır. Uç kısımları sivri şekilde olduğundan dolayı sivri fındıklar zor kırılırlar. Bu bakımdan kabuklu olarak ticareti yapılır. Genişlik ve kalınlıklarına göre uzun yapıya sahiptirler. Tombul fındıklar olarak da adlandırılan yuvarlak fındıklar ise yüksek kaliteli çeşitlerdir. Yuvarlak fındıkların Giresun kalitesi haricindeki çeşitlerine Lavantin fındıklar adı verilmektedir. Şekillerinden dolayı kolay kırılabilen fındıklar olup, protein ve yağ oranları yüksektir. Meyve ile kabuk arasında çok fazla boşluk bulunmadığından kırma işlemi sırasında meyvenin de zarar görmesi mümkündür. Küresel ölçekte en kaliteli fındık çeşidi tombul fındıklar olup, foşa, mincane ve palaz gibi çeşitleri en çok talep gören tombul fındık çeşitleridir (Uncu, 2008).

Ülkemiz koşullarında yetiştiriciliği yapılan fındık çeşitleri Levant ve Giresun kalite olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Giresun'da ve Trabzon'un Vakfıkebir, Beşikdüzü, Akçaabat, Çarşıbaşı ilçelerinde yetiştirilen fındıklar Giresun kalite olarak sınıflandırılmaktadır. Bu fındıklar dünyanın en kaliteli fındıkları olup, en yüksek oranda zar atımı gerçekleştirmektedirler. Levant kalite ise Giresun kalite dışında kalan diğer tüm bölgelerde yetiştirme özelliği olan fındıklara verilen kalite türüdür. Bu fındıklar daha az yağ içermekle birlikte, diğer ülkelerde yetişen fındıklara göre daha yüksek yağ oranı bulunmaktadır. Tat olarak da diğer ülkelerde yetişen fındıklara göre daha iyidir. Levant kalite fındıklar yetiştirildikleri bölgelere göre isimlendirilmekte olup, ülkemizde Levant Ordu, Levant Akçakoca, Levant Trabzon, Levant Samsun olarak adlandırılmaktadır (Köksal ve ark, 2006). Geçmiş yıllarda ülkemizde natural (iç fındık) ve kabuklu şekilde ihracatı yapılan

findık, günümüz koşullarında büyük oranda işlenmiş olarak ihraç edilmektedir. İşlenmiş findıklar toz ve ezme findık, findık füresi, krokan, nugati kıyılmış, kavrulmuş, beyazlatılmış şekillere dönüştürülüp, talep edilen şekillerde ihraç edilmektedir (Anonim, 2017).

Ülkemizdeki findık üretiminin oransal dağılımına bakıldığında 2016 yılında %40 Doğu Karadeniz, %33 Doğu Marmara ve %27 Batı Karadeniz bölgesinden temin edildiği görülmektedir. TÜİK raporlarına göre Türkiye’de toplam 33 ilde findık yetiştiriciliği yapılmakta ve alan olarak %32 Ordu, %17 Giresun, %13 Samsun, %10 Sakarya, %9 Düzce, %9 Trabzon ve geri kalan %10’unda diğer illerimizde olduğu görülmektedir (Anonim, 2017).

Findık tarımı, ülkemiz koşullarında üç bölge altında I,II ve III. standart bölge olmak üzere gruplara ayrılmıştır. İlk bölge Giresun, Ordu, Rize, Trabzon illerini kapsayan tüm bölge olup, ülkemizin diğer bölgelerine göre kalitesi yüksek findık yetiştiriciliği yapılmaktadır. II. Standart bölge olarak adlandırılan ve Düzce, Bolu, Sakarya, Kocaeli, Kastamonu, Sinop, Samsun illerini barındıran bölge genel olarak Akçakoca bölgesi olarak da bilinmektedir. Yaklaşık 50 yıl önce findık üretimine başlanan bu bölgede, yeni sayılabilecek findık ekim alanları bulunmaktadır. İki bölge dışında kalan ve çerezlik bölge olarak da bilinen III Standart bölge Bursa ve İstanbul bölgelerini kapsamaktadır. Bu bölgenin tümünde çerezlik olarak tüketilen findıklar yetiştirilmektedir (Anonim, 2017).

Küresel anlamda bakıldığında Türkiye, İspanya, İtalya, ABD, Çin, İran, Azerbaycan, Fransa ve Avusturalya’da findık yetiştiriciliği yapılmaktadır. Günümüz koşullarında, dünyadaki yıllık findık üretimi yaklaşık 1 milyon tondur. Bu rakamın %70’i ülkemize ait olup, İtalya ve ABD’de ise daha düşük oranlarda yetiştiricilik yapmaktadır (Anonim, 2017).

Findık yaygın olarak şekerleme ve çikolata üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Çerezlik olarak findık tüketimi ise daha az seviyededir. Ülkemiz, küresel ölçekte çerezlik veya gıda sanayinde hammadde olarak kullanılabilir findık üretiminde lider ülke konumundadır. Özellikle işlenmiş findık mamulleri de göz önüne alınırsa, dünyadaki findık piyasasının %80’i ülkemizdeki findık üretimi ile oluşmuştur. Ülkemizdeki yaklaşık 400.000 nüfuslu findık yetiştiriciliği yapan üreticiler ve ailelerinin geçim kaynağını oluşturan findık, işlenerek mamul-yarı mamul haline getirilmesi ile istihdam oluşturmakla birlikte ülkemiz ekonomisine de olumlu etkiler sağlamaktadır (Aktaş ve ark, 2009).

Tüketim açısından değerlendirildiğinde, üretilen findığın %91’i AB ülkeleri tarafından tüketilmektedir. Bu oranın %80’ini oluşturan kısmı hammadde olarak şekerleme ve çikolata

üretiminde kullanılmaktadır. Kıyılmış, öğütülmüş, dilimlenmiş olarak tatlı, pasta, bisküvi, dondurma gibi gıda maddelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Fındığın yağının çıkarılması sonucu küspe adı verilen madde oluşmaktadır. Oluşan küspe %36-45 aralığında protein içermekte olup, yüksek oranda protein içermesi sayesinde hayvan yetiştiriciliğinde yem olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Yavuz, 2013).

Fındık, iç meyve ve dış kabuk olarak iki kısımda oluştuğundan dolayı meyve eldesi sonrası ortaya çıkan en önemli atık kabuğudur. Ülkemizde yıllık ortalama 600.000 tonluk fındık üretimi yapıldığı ve kabuklu fındığın yaklaşık %50'lik kısmının kabuk olduğu düşünülecek olursa, fındık üretimi sonucunda yıllık yaklaşık olarak 300.000 ton fındık kabuğu açığa çıkmaktadır. Fındık kabuklarının yerel olarak yakılarak ısı elde edilmesinin dışında, bilinen endüstriyel bir uygulaması bulunmamaktadır. Fındık kabuklarını içermiş oldukları lignin ve karbonhidrat bileşimleri nedeniyle, biyorafineri yaklaşımı ile katma değeri yüksek bileşiklerin eldesinde ham madde olarak kullanmak mümkündür (Hoşgün ve Bozan, 2017).

Fındık kabuğu ülkemiz koşullarında fındık üretilen yörelerde çok değerli ve yüksek kalorili (4.100–4.400 cal/g) bir yakacak olarak kullanılmaktadır (Topçuoğlu, 2008). Fındık kabuğu genellikle direk yakılmakta olup, çok daha yüksek ısı ve enerji elde etme amacıyla briket haline getirilmesi sonrası da yakılmaktadır.

2.2. Briketleme ve Fındık Kabuğunun Briketlenmesi

Günümüzde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan biyokütle, yenilenebilir tek karbon kaynağıdır (Özgören ve ark, 2012). Biyokütle; yenilenebilir bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Biyokütleye örnek olarak, bitkileri, otları, yosunları, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpleri ve özellikle hayvansal gübreleri saymak olanaklıdır (Şen, 2006). Bu enerji teknolojisi, son derece hızlı gelişmekte ve biyokütle kullanımı her geçen gün artmaktadır (Özgören ve ark, 2012).

Enerji kaynakları arasında biyokütle enerjisi %14'lük paya sahip olmakla birlikte, oransal dağılım açısından değerlendirildiğinde kömür, petrol ve doğalgaz enerji

kaynaklarından sonra gelmektedir. Dördüncü enerji kaynağı olan biyokütle, daha çok kırsal alanlarda üretilerek kullanılan bir enerji kaynağı konumundadır (Demirbaş, 2008).

Bitkisel ve hayvansal kaynaklı atıklar, orman ürünleri, enerji ormanları ve bitkileri, sanayi ve kanalizasyon atıkları, sucul bitkiler ve belediye katı atıkları gibi biyokütle kaynaklarına yönelik üretim çalışmaları son yıllarda giderek artış göstermiştir. Tarımsal anlamda değerlendirildiğinde ülkemiz yaklaşık 26 milyon hektar arazide yıllık yaklaşık 60 milyon ton tarımsal atık oluşmaktadır. Rakamsal olarak analiz edildiğinde oluşan bu atık miktarının 30-40 milyon tonu enerji üretim amacıyla kullanımı mümkündür. Ülkemiz tarımsal atıkları arasında mısır, buğday ve pamuk üretimi sonrasında oluşan tarımsal atık miktarları geniş alanlarda üretimleri sonucunda ilk sıralarda yer almaktadırlar (Başçetinçelik ve ark, 2005). Ülkemizde mevcut durumdaki tarımsal atık miktarları ve enerji potansiyelleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir (Saraçoğlu, 2008).

Çizelge 2.1. Türkiye tarımsal atık potansiyeli ve enerji karşılıkları (Saraçoğlu, 2008).

Tarımsal Atıklar	Yıllık Üretim (milyon ton)	Enerji Potansiyeli (Mtoe- Milyon ton petrol eşdeğeri enerji)
Buğday sapı	26,4	7,2
Arpa sapı	13,5	3,9
Mısır sapı	4,2	1,2
Pamuk sap ve kozası	2,9	0,9
Ayçiçek sapı	2,7	0,8
Şeker pancarı sapı	2,3	0,7
Fındık kabuğu	0,8	0,3
Yulaf sapı	0,5	0,2
Çavdar sapı	0,4	0,1
Pirinç sapı	0,4	0,1
Meyve kabuğu	0,3	0,1
Toplam	54,4	15,5

Türkiye’de 32 milyon ton petrol eşdeğerinde olmak üzere yıllık 117 milyon ton miktarında biyokütle potansiyeli bulunmaktadır. Bu rakamın 14,9 milyon tonu yıllık ürünler, 5,4 milyon tonu orman atıkları ve 4,1 milyon ton çok yıllık bitkilerden oluşmaktadır. Ülkemizde biyokütle enerjisi potansiyelinin yüksek olmasından dolayı bu alandaki

yenilenebilir enerji üretimine gereken önemin verilmesi büyük bir zorunluluktur (Demirbaş, 2008).

Gerek tarımsal gerekse diğer biyokütle atıkları geliştirmekte olan ülkeler açısından önemli bir enerji kaynağıdır. Tarımsal kaynaklı atıkların nem oranı yüksek olup, düşük yoğunluğa sahiptirler. Bu bakımdan sanayi alanında ve evlerde doğrudan yakılarak kullanımı çok mümkün olmamaktadır. Doğrudan kullanım çabaları ise nakliye, depolama ve işleme sorunlarını beraberinde getirmekte olup, çevre sorunlarının meydana gelmesi ise en önemli problemi oluşturmaktadır. Bu sorunların sonucunda tarımsal ve diğer biyokütle atıklarının en iyi şekilde yararlanılması açısından briketlenerek kullanımı ile enerji eldesi çözümü sağlanmıştır. Tarımsal ve diğer biyokütle atıklarının briketlenmesi ile taşıma maliyetleri azaltılmakta, yakılma işlemi kolaylaşıp yanma karakteristiği iyileşmekte ve emisyon oranları azaltılmaktadır (Grover ve Mishra, 1996).

Yüksek basınç uygulanarak gerekli durumlarda yapıştırıcı madde yardımıyla küçük parçacıklı katı yakıtların sıkıştırılarak biçimlendirilmesi sonucu elde edilen daha büyük parçalı katı yakıtlar briket olarak adlandırılmaktadır. Kullanım amacına göre briket yapım aşamasında kullanılacak olan katı yakıt tane iriliği değişiklik göstermektedir (Acaroğlu ve Hacıseferoğulları, 2014). Parçalı maddelerin 25 mm çaptan daha fazla olacak şekilde sıkıştırılması ile briket elde edilmektedir. Tarımsal ve diğer biyokütle atıkları briketlenerek parçalı haldeki yoğunlukları 100-200 kg/m³ iken 1.200 kg/ m³'e yükseltilmesi sağlanmaktadır (Grover ve Mishra, 1996).

Ezilmiş, toz halinde bulunan veya çentiklenmiş katı maddelerin kesmeler halinde glomerülleştirilmesi veya sıkıştırılması işlemi sonucu briket yakıtlar oluşmaktadır (Acaroğlu ve Hacıseferoğulları, 2014).

Katı yakıtların briket haline getirilmesiyle yakıt olarak daha verimli kullanımı ve daha kolay taşıma ve nakliye sağlanabilir. Tarımsal atıkların depolama maliyetleri yüksek miktarlardadır. Ayrıca tarımsal atıklar düşük yoğunluğa sahip atıklardır. Bu bakımdan tarımsal atıklardan oluşturulacak briketin ülkemiz için önemli bir yakıt kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür (Melki, 2017). Tarımsal atıklardan üretilen briket Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Tarımsal atıklardan üretilen briket

Briketleme işlemi sıcak ve soğuk olarak iki ayrı şekilde gerçekleştirilmektedir. Katı yakıtların ısıtılması ile yumuşatılarak birbirine yapışmasının sağlanması şeklindeki briketleme sıcak briketlemedir. Katı yakıtların ısıtılmadan birbirine yapıştırılması ise soğuk briketleme olarak adlandırılmaktadır (Melki, 2017). Briketlemede sıkıştırılma işlemi yüksek basınç altında, normal basınç altında ve düşük basınçta yapıştırıcı yardımıyla olmak üzere 3 farklı şekilde yapılmaktadır (Grover ve Mishra, 1996).

Tarımsal atıkların farklı basınçlar uygulanarak briketlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Pamuk üretimi sonrasında oluşan sapların briketlenmesi ile ilgili yapılan bir araştırma kapsamında Akman ve Bilgin (2012) tarafından maksimum sıkıştırma basıncı 350 MPa olan pres yardımıyla öğütülmüş pamuk saplarının briketlenmesi işlemi yapılmıştır. Deneyler kapsamında pamuk saplarının %11,93 nem içeriğine sahip olduğu ve 140 MPa basınç ile 30 saniye boyunca kuvvet uygulanarak briketleme işlemi tamamlanmıştır. Briketleme işlemi sonrasında 40 mm yüksekliğe sahip 61 mm çapında briketler elde edilmiştir. Yapılan fiziksel deneyler sonrasında pamuk saplarının ortalama 1.006 kg/m^3 yoğunluk değerinde briketlenebileceği belirlenmiş olup, oluşturulan briketlerde çatlama veya kırılma durumları oluşmamıştır.

Briketleme ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada Çukurova Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen yarfıstığı ürününün atığı konumundaki kabuğunun briketlenmesi ve yakıt olarak kullanımı amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında oluşturulan briketlerin elementel özellikleri, ısı değerleri, yanma emisyonu ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda Çukurova Bölgesi'nde yıllık yarfıstığı kabuğunun 23 bin ton miktarında olduğu görülmüştür. Deney kapsamında 15 kWh'lık elektrik motoru yardımıyla çalışabilen konik helezon tipli briketleme makinesi kullanılmıştır. Ortalama değerlere göre oluşturulan briketlerin özgül ağırlığı 1.573 kg/m^3 , kırılma dirençleri 4555 N, kül içerikleri %6,64 olarak

bulunmuştur. En yüksek CO₂ emisyon miktarı ise 1.773 ppm olarak belirlenmiştir (Karaca ve Başçetinçelik, 2011),

Yoğun şekilde gül yetiştiriciliği yapılan Ispartada gül atıklarının katı yakıt olarak kullanılması amacıyla yapılan briketleme ile ilgili araştırmada Akman (2012) en yüksek sıkıştırma basıncı 350 MPa olan silindir kalıplar kullanılmıştır. Yapılan deneylerde nem değeri %83,34 olarak bulunmuş olup, 30 saniye boyunca 35 MPa basınç uygulanarak briketleme işlemi yapılmıştır. Gülün, yağ eldesi amacıyla işlenmesi sonrasında ortaya çıkan atıklar farklı oranlarda kömür tozu ile ikame edilerek briketleme işlemi yapılmıştır. İkame yüzdeleri %100 gül atıkları, %75 gül atıkları- %25 kömür tozu, %50 gül atıkları-%50 kömür tozu, %25 gül atıkları-%75 kömür tozu olacak şekilde 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların briketlenmesi sonrasında 80 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde 20 mm merkezli delikli briketler oluşturulmuştur. Oluşturulan briketlerin 1.239-1.274 kg/m³ aralığında yoğunlukları değişmiştir. Enerji amacıyla yakılmaları sonrası oluşacak emisyon değeri hava kirliliğinin önlenmesi ile ilgili yönetmeliklere göre belirlenen maksimum değerlerin altında kalmış ve uygun bulunmuştur.

Bilgin ve ark, (2014) tarafından yapılan ayçiçeği saplarının briketlenmesi ile ilgili bir araştırmada 15 kWh güç üreten helezon tipte makineyle briketleme işlemi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan ayçiçeği saplarının tane çapı 0,705 mm olup, nem içerikleri %10 civarındadır. Araştırma sonucunda oluşturulan briketlerin kırılma direnci, yoğunluğu, basınç ve su alma direnci belirlenmiştir. Oluşturulan briketler yapılacak olan deneyler öncesinde 7 gün süreyle %65 bağıl neme sahip 23,5 °C sıcaklık ortamında bekletilmiştir. Çalışma kapsamında 25 mm ve 56 mm çaplarında iki farklı tipte briketler elde edilmiştir. Deneyler sonucunda briketlerin ortalama yoğunluğu 1.195 kg/m³, basınç direnci 2.780 N ve su alma direnci %80,5 olarak bulunmuştur.

Antepfıstığı üretimi sonrasında atık olarak oluşan iç ve dış kabukların briketlenip yakıt haline getirilmesi ile ilgili yapılan bir araştırmada Polat ve ark, (2013) helezon tipte briketleme makinesi kullanmıştır. Küçük taneli yapıya getirilen antepfıstığı kabuklarına %20, %30 ve %40 oranlarında zeytin prinası ile karışım oluşturularak briketleme işlemine başlanmıştır. Oluşturulan briketler 100 mm çapında ve 10-30 cm uzunluğunda boyutlara sahiptir. Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda antepfıstığı kabuklarından oluşturulan briketlere, zeytin prinasının eklenmesi sonucu dayanım özelliklerine olumlu katkılar yaptığı ve yüzdece zeytin prinasının artması ile daha iyi sonuçlara ulaşıldığı belirlenmiştir.

Araştırma konusu fındık kabuğunun briketlenmesi ile ilgili çalışmalarda bazı durumlarda diğer tarımsal atıklar ile karıştırılarak bazı durumlar da ise sadece fındık kabuğu kullanılarak briketleme işlemi yapılmıştır. Haykırı Açma ve Özyoğuran, (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada Afşin-Elbistan bölgesinden temin edilen linyit ile fındık kabuğu, ay çekirdeği kabuğu ve pirina yapıştırıcı madde kullanmadan ayrı ayrı briketlenmiştir. Yapılan briketleme işleminde ayrı ayrı basınç uygulanmış olup, bu basınçlar 280 MPa, 555 MPa, 830 MPa ve 1.110 MPa olarak sıralanmıştır. Linyit ile tarımsal atıkların ikame oranları %2, %5, %10 ve %20 olacak şekilde belirlenmiştir. Briketleme işlemi yapılırken uygulama hızı 50 mm/dak ve 1.110 MPa basınç uygulayabilen hidrolik pres kullanılmıştır. Üretilen briket örnekleri 30 mm çap, 10 mm yüksekliğe sahiptir. Ağırlıkları 10 g olan briket örnekleri yapılacak olan testler öncesinde 1 hafta boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Bekletilme işlemi sonrasında düşme sağlamlığı, kırılma sağlamlığı, suda dağılım ve en uygun pres basıncı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda briketleme işlemi sırasında linyite eklenen tarımsal atıkların düşme sağlamlığına olumlu etki yaptığı, suya dayanıklılığa karşı ise olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Ayrıca ay çekirdeği kabuğu ve pirinanın Afşin-Elbistan linyitine %2 oranında eklenmesi, kırılma dayanımını büyük ölçüde arttırmıştır.

Fındık kabuklarının farklı tarımsal atıklar ile karıştırılmadan briketlenerek yakıt olarak kullanılmasının amaçlandığı bir çalışmada Demirel (2016) tarafından 0-250 bar aralığında sıkıştırma basıncı bulunan hidrolik briketleme makinesi kullanılmıştır. Yapılan briketleme işlemi sonrasında çapı ve uzunluğu 50 mm olan briketler elde edilmiştir. Deneylerde iki farklı sıkıştırma basıncı kullanılmış olup, bu değerler 50 bar ve 100 bar olarak belirlenmiştir. Fındık atıkları ise briketleme işlemi öncesinde 3 farklı boyut haline getirilmiştir. B boyutlar 0-3mm, 3-6 mm ve 6-100 mm aralıklarındadır. Tüm malzemelerin tamamlanması sonucunda briketlenen fındık kabuklarının yanma hızları, ısı değerleri, gaz emisyonları, fiziko-mekanik özellikleri ve boyutları belirlenmiştir. Araştırma sonucunda fındık kabuklarının briketlenmesi için olması gereken en uygun nem değer aralığı %11-20 olup, en uygun sıkıştırma basıncı 10 bar ve en iyi değeri veren fındık kabuğu boyutu 6-10 mm olarak gözlemlenmiştir.

Tarımsal atıklardan üretilen briketlerin ve diğer biyokütle kaynaklarının yakıt olarak değerlendirilmesi sonrasında atık madde olarak kül oluşmaktadır. Çevreye zararlı bu atık külün faydalı bir ürüne dönüştürülebilmesi ve betonda puzolan malzeme olarak kullanılabilmesi mümkündür.

2.3. Beton

Günümüz koşullarında farklı yapılar arasında en çok kullanılan malzeme olarak beton karşımıza çıkmaktadır. Betonun kolay üretilmesi ve ekonomik olması nedeniyle köprüler, yollar, binalar, barajlar, su depoları, istinat duvarları, liman ve hava alanları vb. gibi farklılık gösteren birçok alanda kullanım imkanı bulmuştur (Topçu, 2006). Geçmiş dönemlerde su, çimento ve agrega malzemelerinden oluşturulan betonun, günümüz koşullarında çeşitli katkı malzemelerinin katılması ile çok daha iyi özelliklere sahip olması sağlanabilmektedir (Felekoğlu ve Baradan 2004; Özşahin 2011).

Kocataşkın (1991) tarafından yapılan tanımlamaya göre çimento, agrega, su ve gerekli durumlarda katkı malzemelerinden oluşturulan ve oransal olarak belirli koşullara göre tasarlanmış bir beton karışımının boşluk olmayacak şekilde kalıplara yerleştirip sertleşmesinin sağlanması ile oluşan kompozit malzemelere beton adı verilmektedir.

Beton üretiminde kullanılan çimentoya, farklı oranlarda puzolan malzeme ikame edilmesi mümkündür. Çimentoya ikame edilecek puzolan malzeme oranı %10 ile %40 arasında değişmektedir. Uygun yüzdelerde kullanılacak olan puzolanlar beton üretiminde kullanıldıklarında maliyeti düşürmektedir. (Şimşek, 2004; Gündeşli, 2008).

Betonun dayanım değerleri, diğer tüm özelliklerini etkileyen bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Betonun dayanımının yüksek olması porozitesinin az olmasını ve geçirimsiz yapıya sahip olmasını göstermektedir. Betonların geçirimsiz ve yüksek dayanımlı olması için ise su, çimento, agregalar ve katkı malzemelerinin birbirlerine sıkıca bağlanması ve dolu bir betonun oluşturulması gerekmektedir (Şişman ve ark, 2008).

Betonun kentsel alanlarda kullanılmasının yanında, günümüz koşullarında kırsal alanlarda da kullanımı oldukça yaygındır. Betonun inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının yararları aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Şişman ve ark, 2008)

- Beton harcına istenen şekil verilebilir.
- Betonun iskeletini oluşturan agrega kolayca bulunabilir.
- Beton işçiliği için her işçinin ihtisaslaşmasına gerek olmayıp bir uzmanın bulunması beton üretimi için yeterlidir, yani yapımı kolaydır.
- Betonla istenilen boyutta yek pare yapı kısımları yapılabilir.

- Betonun dayanımı taş, tuğla, briket ve kerpice oranla yüksek olduğundan yapı elemanlarının boyutları küçültülebilir ve böylece yapı alanından ekonomi sağlanmış olur.
- Beton dış etkilere dayanıklıdır.
- Beton yangına karşı güvenilirdir.
- Gerekli önlemler alınarak su içinde yapı elemanlarının yapımına olanak verir.
- Beton yapı elemanları çıplak olarak bırakılabilir veya çeşitli yapı malzemeleriyle kaplanabilir.

Betonun sakıncaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Beton çok yüksek sıcaklığa dayanamaz ve gerekli önlemler alınmazsa sesi, ısıyı ve nemi iletir.
- Sökülüp tekrar kullanılma özelliği yoktur.
- Onarılması zor ve olanaksızdır.
- Betonarme yapı elemanları diğer yapı malzemeleriyle yapılanlara kıyasla daha ağır olur (Alkaya, 2010).

Beton, Arslan. (2008) tarafından yapılan tanımlamaya göre su, çimento, agrega ve gereken durumlarda katkı malzemelerinin daha önceden belirlenen oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan, belirli bir süre sonunda plastikliğini kaybedip sertleşen kompozit bir malzemedir. Uluata 1981; Ekmekyapar ve Örüng 1997 tarafından yapılan tanımlamaya göre ise beton su, çimento ve agregaların karıştırılması sonucunda sertleşip yüksek dayanıma sahip olan yapı malzemesidir. Şimşek, (2009) tarafından yapılan başka bir anlatımda ise beton; su, beton agregası, çimento ve katkı maddelerinin hesaplamalar sonrasında bir üretim teknolojisine uygun şekilde belirlenen oranlarda karıştırılması sonucunda başlangıçtaki plastik kıvamını kaybedip çimentonun hidratasyona uğraması ile katı hale geçip, istenilen şekli alabilen kompozit yapı malzemesidir.

Beton içerisinde bulunan su, çimento ve agrega malzemelerinin karışım içerisindeki oranlarının değiştirilmesi sonucunda betonların dayanım özellikleri değişebilmektedir. Bu durumun yanında özel üretilen çimento, agregalar, katkı maddeleri ve yine özel kür ortamları ile farklı özelliklere sahip betonların üretimi mümkündür (Kaplan, 2003). Farklı özelliklere

sahip betonlar yoğunluk, dayanım ve üretilen yerlerine göre 3 farklı grupta incelenmektedir (Arslan, 2008).

Betonun sertleşmiş haldeki yoğunluk değeri, etüvde bekletildikten sonraki ağırlığının hacmine oranıdır. Betonun yoğunluk değeri agrega türüne ve granülometrisine bağlı olarak değişmektedir. Bu yapılara göre betonlar hafif, normal ve ağır betonlar olmak üzere 3 ayrı özellikte toplanmaktadır (Arslan, 2008; Şimşek, 2009).

TS EN 206-1 standartlarına göre 3 grupta toplanan betonun yoğunluklarına göre aşağıda belirtilen 3 ayrı grupta incelenmesi mümkündür TSE EN 206-1 (2002).

- Hafif beton: Etüv kurusu halinde 800 kg/m^3 ile 2.000 kg/m^3 arasında birim hacim ağırlığına sahip olan beton.
- Normal beton: Etüv kurusu halinde 2.000 kg/m^3 ile 2.600 kg/m^3 arasında birim hacim ağırlığına sahip olan beton.
- Ağır beton: Etüv kurusu halinde 2.600 kg/m^3 'ten daha büyük birim hacim ağırlığına sahip olan beton.

Dayanım özellikleri iyi, dayanıklı ve işlenebilir olan betonun ekonomik şekilde üretilmesi, düşük su/çimento oranına sahip olması, yeterli suya sahip olması, agrega maksimum tane çapının gereken boyutlarda ve uygun granülometrisinin sağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu özelliklerin dışında betonun yüzey kısmının pürüzsüz yapıda olması ve yeterli zaman kür koşullarında bekletilmiş olması zorunluluktur (Ekmekyapar ve Örüng, 1993). Dayanım özelliklerine göre betonlar değerlendirildiğinde 3 gruba ayrıldıkları görülmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006)

- Düşük Dayanımlı Betonlar: Dayanım değeri 20 MPa'dan daha az olan betonlardır.
- Orta Dayanımlı Betonlar: Dayanım değeri 20-40 MPa arasında olan betonlardır.
- Yüksek Dayanımlı Betonlar: Dayanım değeri 40 MPa'dan daha fazla olan betonlardır.

Betonların bir diğer farklı sınıflandırılması üretim yerlerine göre olmaktadır. Üretildikleri yere göre betonlar iki alt başlıkta değerlendirilir (Bakır, 2011).

- Şantiye Beton: İnşaatın yapıldığı yer olan şantiye bölgesinde üretimi yapılan betonlardır.

- Santral Betonu: Üretim yeri hazır beton santralleri olan betonlardır. Bu betonlar şantiye alanına transmikserler yardımıyla götürülürler.

Betonun ısı ve ses iletkenlik değerleri beton özellikleri açısından çok önemli olup, betonun ısı ve ses iletim değerlerinin düşük olması istenilen bir durumdur. Betonun içeriğindeki çimento miktarının artması ve düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip agregaların karışımında kullanılması ile ısı yalıtımı iyileştirilebilmektedir (Uysal ve ark, 2004).

Beton bileşiminde bulunan çimento, agregalar, su ve puzolan malzemeler aşağıdaki alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.3.1. Çimento

Beton içerisinde yer alan çimento, agregaların aralarındaki boşlukları doldurmak, agrega yüzeyini kaplayarak yapıştırıp bir arada tutulmasını sağlamaktadır. Çimento 1.400°C sıcaklıktaki fırınlarda kil ve kalkerin pişirilmesi sonrasında meydana gelen klinkerin, alçı taşı ile 90 mikron tane çapına düşürülmesi ile oluşmaktadır (Onaran 2003).

Çimento üretiminde klinker ve alçı taşının yanında farklı çeşitlerde mineral katkıların da kullanımı mümkündür. Mineral katkıları doğal veya atık malzemelerin kullanılması ile elde edilebilmektedir. Mineral katkıların eldesi için çok fazla enerji ihtiyacı gerekmemektedir. Özellikle atık malzemelerin, çimento ve beton üretiminde kullanımı ile maliyetler ve emisyon oranlarındaki düşüşten dolayı kullanım açısından ön plana çıkmaktadır (Bapat, 2013).

Portland çimentosu olarak adlandırılan ve en yaygın bilinen çimento türü dünyadaki çimento üretiminin %70'ini oluşturmaktadır. Portland çimentosu farklı çimento çeşitlerinin bileşiminde de belirli yüzdelerde bulunmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Çimentolar TS EN 197-1 (2012) standardına göre şu şekilde gruplandırılabilir.

- Portland Çimentoları (CEM I)
- Portland Kompoze Çimentoları (CEM II)
- Portland Yüksek Fırın Cürüflu Çimento (CEM III)
- Puzolanik Çimento (CEM IV)
- Kompoze Çimento (CEM V)

2.3.2. Agregas

Doğal, yapay veya doğal – yapay malzemelerin meydana getirdiği maksimum 100 mm tane çapına sahip olan kırılmış veya kırılmamış taşlara agregas adı verilmektedir (Ekmekyapar ve rng 1997; Şimşek, 2009; Erdoğan, 2007) tarafından yapılan tanımlamaya göre ise beton içeriğinin yaklaşık olarak %75'ini oluşturup, imento ve su ile birlikte beton karışımını oluşturan kırmataş, kum, çakıl gibi malzemelere agregas denilmektedir. Beton maliyeti içerisinde çimentodan sonra ikinci en önemli bileşen olup, kullanım amacına uygun özellikte beton üretilmesi için kullanımı zorunludur.

Agregalar doğal, yapay ve özel agregalar olarak 3 grupta incelenmekle birlikte daha geniş kapsamda sınıflandırılmaları mevcuttur. Erdoğan (1995) tarafından yapılan farklı agregas sınıfları aşağıda verilmiştir.

- Kaynağına göre: doğal agregas, yapay agregas
- Özgül ağırlık veya birim hacim ağırlıklarına göre: hafif, normal ve ağır agregas
- Tane büyüklüğüne göre: iri agregas ve ince agregas
- Tane şekline göre: yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun agregas
- Yüzey dokusuna göre: düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli agregas
- Elde edilişlerine göre: doğal (kum, çakıl, kırmataş), yan ürün (yüksek fırın cürufu) ve ıslı işleme tabi tutulmuş (genleştirilmiş perlit) agregas
- Jeolojik orijinlerine göre: volkanik, tortul ve metamorfik agregas
- Mineralojik yapılarına göre: silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb. agregas
- Agregaların yapılarında, çimentoda bulunan alkalilerle reaksiyona girerek genleşme yaratabilecek reaktif silis içerip iermediklerine göre: reaktif ve reaktif olmayan agregas olarak sınıflandırılabilir.

Agregalar imentonun karşılaşacağı bzlmeye (rötre) karşı direnç oluşturup, betonun hacminin korunmasını sağlamaktadır (Saran ve ark, 2007). Bu durumun yanında beton üretiminde kullanılacak olan agregaların yüksek dayanımlı olması ile beton dayanımı da yüksek olmaktadır. Agregaların tane boyutu, birim ağırlığı, su emme değerı, özgül ağırlığı, tane şekil yapısı, dona dayanım, aşınmaya dayanım, elastikiyet modülü gibi özelliklerinin beton üretiminde göz önünde bulundurulması gereken noktalardır (Erdoğan, 2007).

Agrega özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Şahin (2002) tarafından yapılan bir çalışmada agregaların fiziksel dayanımı, birim hacmi, su emmesi, granülometrisi gibi özelliklerinin beton üretiminde önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Bu agregaların yanı sıra beton karışım oranları, çimento ve sıkıştırma derecesi de oluşturulacak olan betonun kalitesini etkilemektedir.

Kullanım amacına uygun beton üretimi için kullanılacak agregalarda bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ekmekyapar ve Örüng 1997; Şimşek, 2004).

- Sağlam ve dayanıklı olmalı, aşınmamalı, su etkisi ile yumuşamamalı ve dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agregada içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır.

2.3.3. Su

Beton üretiminde kullanılan çimento ve agreganın dışındaki bir diğer malzeme sudur. Çimentonun sertleşerek dayanım kazanması için su ile hidrasyon ve priz olayının gerçekleşmesi gerekmektedir. Beton karışım suyunun istenilen kalitede olup, yabancı maddelerden arındırılmış olması gereklidir. İçilebilen düzeyde değerlere sahip olan sular beton üretiminde karışım suyu olarak kullanılabilirler (Sarıkaya, 2006).

Betonun dayanımı ile karışım suyu arasında ters orantı bulunmaktadır. Bu bakımdan hidrasyon ve çimentonun sertleşmesi için mümkün olduğunca az miktarda karışım suyunun kullanılması uygundur. Karışım suyu gerekenden fazla olduğunda hidrasyon sonrası çimentonun sertleşmesi sağlandıktan sonra suyun bir kısmı buharlaşır ve betonda boşluklar oluşur. Oluşturulan betonda boşlukların artması ise geçirimli yapıya sahip olmasını ve dayanım özelliklerinin düşmesine sebep olur. Tüm bu sebeplerden dolayı karışım suyu

silis bulunmakta olup, alümin, demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon da bulunmaktadır (Erdoğan, 2007).

Massazza, (1998) tarafından yapılan başka bir puzolan malzeme tanımına göre bağlayıcı olmasalar da sulu ortam ve normal sıcaklıklarda kireç yardımıyla bağlayıcı özellik kazanabilen, suda çözünmeye kararlı bileşiklerden oluşan malzemelerdir. Ayrıca bu tanım puzolanların karakteristik özelliğini de belirtmektedir.

Çimentoya eklenecek puzolan malzeme katkısı ile beton dayanımında artış meydana gelir. Puzolanlar, çimentoya üretim aşamasında veya üretim sonrasında da eklenebilirler. Bu şekilde puzolan katkısı ile üretilen çimentolara portland çimentosu adı verilmektedir. Çimentoya ikame edilecek puzolan malzeme oranı TS-19 standartlarına göre %10 - %15 aralığında değişmektedir. Puzolan malzemelerin çimentoya eklenmesi sonucunda kirecin su içerisinde erimesi engellenir ve çimento daha dayanıklı hale gelir (Biricik, 1995). Uygun yüzdelerde kullanılacak olan puzolanlar beton üretiminde kullanıldıklarında aşağıdaki faydaları sağlamaktadırlar (Şimşek, 2004; Gündeşli, 2008).

- İşlenebilirliği iyileştirirler.
- Sülfat etkisine karşı direnci artırır (1 kg CaO, 1,07 kg SiO₂ bağlar CaSiO₂).
- Hidratasyon ısısını düşürürler.
- Alkali – agrega reaksiyonunun zararlı etkisini azaltırlar.
- Isıl büzülme azaltırlar.
- Maliyeti düşürürler (Şimşek, 2004).

Uygun yüzdeler dışında kullanılan puzolan malzemeler bazı durumlarda aşağıdaki olumsuz durumları oluşturabilirler;

- Su ihtiyacını artırır.
- Donma çözülmeye karşı direnci düşürürler.
- Sertleşme ve dayanım kazanma hızını azaltırlar.
- Kuruma büzülmesini artırır (Şimşek 2004)

Puzolan malzemelerde bağlayıcılık özelliğinin istenilen seviyede olması, aşağıda belirtilen koşulların sağlanması ile gerçekleşmektedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır (imento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki “ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ” miktarının en az % 70 olması istenmektedir).
- Amorf yapıya sahip olmalıdır.
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütölerek en az imento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.

Puzolan malzemelerin katkı maddesi olarak kullanılması ile üretilecek betonlarda imento miktarı belirli ölçüde azaltılarak puzolan ilavesi yapılmaktadır. Bu işlemin sonucunda beton içerisinde bulunan bağlayıcı malzeme portland imentosu ve puzolan malzemeden oluşmaktadır. Beton içerisinde kullanılan mineral katkı malzemeleri ince agreganın belirli bir yüzdesi için de ikame olarak kullanılabilir (Erdoğan, 2007).

2.3.4.1. Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Aktivite

Puzolanların kompozisyonu, büyük ölçüde silis ve alüminden oluşmaktadır. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürölmüş kireç ve suyla birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında birtakım kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum- silika- hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır. Nemli ortamda, ince öğütölmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasında oluşan kimyasal reaksiyonun açılımı $\text{CH} + \text{S} + \text{H} \rightarrow \text{C-S-H}$ (kalsiyum-silika-hidrat). Bu puzolanik reaksiyon, çok yavaş bir reaksiyondur. Burada, $\text{C} = \text{CaO}$, $\text{H} = \text{H}_2\text{O}$, $\text{S} = \text{SiO}_2$ 'dir (Erdoğan, 2007).

Puzolan malzemelerin kireci bağlama kabiliyetine ise puzolanik aktivite adı verilmektedir. Puzolanik özellik silis elementinin miktarı ve amorf yapısına bağlıdır. Silisin amorf yapıya sahip olması çözünebilir olması anlamına gelmektedir. Çözünen ve çözünemeyen silis miktarı doğrudan belirlenebileceği gibi, çözünemeyen silis toplam SiO_2 'nin çıkarılması ile belirlenebilir. X-Işını difraktometresi ile amorf silis saptanmakla birlikte kimyasal gravimetrik yollarla kantitatif miktar da belirlenebilmektedir (Biricik ve ark, 1996).

2.3.4.2. Tarımsal Atıkların Puzolanik Özellikleri

Tarımsal kaynaklı atıkların biyolojik temelli puzolan malzeme olarak kullanılma imkanlarının araştırıldığı çalışmalar her geçen gün artmaktadır (Pappu ve ark, 2007). Silikat kaynaklı maddeler toprak yapısında bolca bulunmaktadır. Bitkilerin doğal yaşam alanı olan toprakta bu denli fazla miktarda silikat bulunmasından dolayı bünyelerinde silikat olması fikri oluşmuştur. Beton üretiminde tarımsal atıkların kullanılma fikrinin oluşmasının farklı bir sebebi, lifli yapıya sahip olmalarıdır. Bu atıkların lif oranının yüksek olması ile betonun dayanıklılığını arttıran sentetik lif yerine kullanılması mümkün olmaktadır (Mo ve ark, 2016).

Kökleri yardımıyla topraktan farklı silikat ve mineralleri alan bitkiler içerisinde anorganik maddeler ve çoğunlukla silikatlar, tek yıllık bitkilerde ağaçlara göre daha çok miktarda bulunmaktadır. Buğday, ayçiçeği, pirinç, tütün ve diğer tek yıllık tarım ürünlerinin atıkları olan yaprak ve saplarında bulunan katükula tabakası yüksek oranda silis ve silikat bulunmaktadır. Bitkilerin içeriğinde serbest tuz veya belirli miktarlarda liflerin içerisinde katyonlar halinde anorganik bileşenler bulunmaktadır (Biricik ve ark, 1996).

Tarımsal atıkların hafif olmalarından dolayı yapı malzemelerinde kullanılmaları ile yapı yükü hafifletmektedir. Özellikle ülkemizin de içerisinde bulunduğu deprem bölgelerinde yapı yükünün hafifletilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca tarımsal atıklar genel anlamda yapı maliyetini de düşürmektedir. Tarımsal atıkların bir yıl içerisinde veya daha kısa sürede meydana gelmeleri, inşaat alanlarına yakın yerlerden temin edilebilme imkanları, kullanımları sonrasında ekolojik koşullarda kolaylıkla yok olmaları ve çevre kirliliğinin engellemeleri yapı alanında kullanılmaları ile sağladıkları avantajlar olarak sıralanabilmektedir (Esin ve Yüksek, 2008).

Ülkemizde yapılan akademik araştırmaların birçoğunda tarımsal kaynaklı atık malzemelerin yapı sektöründe kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar devam etmekle birlikte tarımsal atıkların inşaat sektöründe kullanılmasının mümkün olması, geçmiş dönemde yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Ayçiçeği sapı, bambu, şeker kamışı, pamuk, pirinç sapı ve kavuzu, muz sapı, buğday sapı, mısır sapı, kenevir, keten, çavdar vb. tarımsal kaynaklı atıkların inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi yapılan çalışmaların ortak sonuçlarıdır (Şişman ve Gezer, 2011).

Tarımsal atıkların yapı sektöründe kullanımına yönelik çalışmaların bazılarında atıklar doğrudan kullanılmış olup, bazılarında ise yanma işlemi sonrası oluşan kül kullanılmıştır. Tarımsal kaynaklı atıkların yanma işlemi ile egzotermik bir reaksiyon oluşmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda atıkların içerisindeki organik maddelerin yanması ile amorf maddeler kristalleşmekte ve kristal fazların oluşumu görülmektedir. Yeni fazların oluşumu ile birlikte tarımsal atıkların ağırlığı düşmekle birlikte kül meydana gelmektedir (Biricik ve ark, 1996).

Pirinç kabuğunun yakılması sonucu oluşan kül içerisinde düşük oranlarda demir oksit, alümina, alkaliler, kalsiyum ve magnezyum oksit bulunmakla birlikte yüksek oranda (%92-93) silika bulunmaktadır. 400°C - 600°C aralığındaki yakma sıcaklığı ve hızlı kül soğutması yapıldığında silika amorf hale gelmektedir. Külün yüksek oranlarda amorf yapıya sahip silika içermesi puzolanik özelliğe sahip olduğunu göstermektedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

Puzolanik özellik gösteren pirinç kabuğu külünün, öğütülerek çimentoya ikame edilmesi mümkün olduğu gibi alçı taşı veya klinker gibi malzemelerle karıştırılarak öğütülmesi de uygundur. Özellikle çimento ile birlikte öğütülmesi ve içine karıştırılması durumlarında üretilecek olan betonun dayanım özelliklerinin daha iyi olduğu görülmektedir (Mazlum, 1989).

Buğday saplarının üreticiler tarafından açık alanda yakılması ve sonrasında oluşan külün doğal çevreye bırakılması çevre kirliliğine neden olmaktadır (Binici ve Aksoğan, 2011). Buğday sapı külünün çevreye vereceği zararların önüne geçilmesi ve ekonomik olarak değerlendirilmesinin sağlanması çalışmaları sonucunda beton üretiminde puzolan olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır (Mo ve ark, 2016). Çimentoya ikame %20 oranında buğday sapı külünün kullanılması ile üretilen beton dayanımının %25 arttığı belirlenmiştir (Ataie ve Riding, 2013).

Ayçiçeği üretimi sonrasında tarlada kalan atık malzeme olarak saplar oluşmaktadır. Ayçiçeği sapları öğütülmeleri sonucunda puzolanik özellik kazanmaktadır. Beton yapımında çimentoya ikame olarak ayçiçeği saplarının kullanımı ile dayanım özellikleri açısından iyi olan ısı iletim katsayısı düşük betonların elde edilmesi mümkündür. Ayçiçeği sapı ikame oranları betonun kullanım amacına göre değişmekle birlikte genelde %20 - %40 aralığında kül kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu oranların altında kül ikamesi ısı iletim katsayısını yükseltmektedir. Çimentoya %40 oranından fazla kül ikamesi ise beton dayanım özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Alkaya, 2010).

Şeker kamışından şeker eldesi sonrasında kalan posa maddesi yakılarak değerlendirilmektedir. Atık olarak oluşan külün puzolan malzeme olarak betona katılması sonucunda yapılarda kullanılacak betonlar için olumlu sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir (Chusilp, 2009). Şeker kamışı külünün puzolan malzeme olarak çimentoya ikame edilmesi sonucunda %20 oranında beton dayanım özelliklerinin gelişme gösterdiği sonucuna varılmıştır (Rukzon ve Chindapasirt, 2012).

Rukzon ve Chindapasirt (2012) tarafından yapılan betonların basınç dayanımını artırma amacıyla, mineral katkıların kullanıldığı çalışma kapsamında %10, %20 ve %30 oranlarında çimentoya ikame olarak şeker kamışı posasının külleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde basınç, klor karşı difüzyon ve porozite özellikleri araştırılmıştır. Kül katkıları olumlu etki yapmış olup, en uygun su/bağlayıcı oranı ise 0,3 olarak belirlenmiştir

Tarımsal atıklar içerisinde yüksek miktarda silika içeren bir diğer atık mısır koçanıdır (Binici ve Aksoğan, 2011). Mısır koçanının silika içeriğinden dolayı çimentoya ikame puzolan malzeme olarak kullanılabilceği gibi, beton üretiminde agrega malzemesi olarak kullanım imkanları ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada, mısır koçanının yakılması sonrasında elde edilen kül ince agrega malzemesine %6 oranında ikame edilmiş ve 1 yıllık kür süresi sonucunda dayanım özelliklerinin %40 oranında artmasını sağlamıştır (Binici ve ark, 2008).

Bu çalışmada ülkemizin en önemli tarım ürünlerinden olan fındığın atığı konumundaki kabuğunun (FK) ısınma ve enerji elde etme amacıyla direk kullanılmasıyla ve yüksek basınç ve ısı altında oluşturulan fındık kabuğu briketinin (FBK) kullanılmasıyla ortaya çıkan kül atıklarının beton üretiminde puzolan malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve üretilen bu betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, araştırmanın amacını gerçekleştirmek için kullanılan materyaller ve metodlar hakkında bilgi verilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmanın materyalini fındık kabuğunun direk yakılmasıyla ve fındık kabuğundan üretilen briketin yakılması ile elde edilen küller ile çimento, agrega, su ve bu malzemelerle üretilen beton örnekleri oluşturmaktadır.

3.1.1. Fındık Kabuğu Külü (FK)

Araştırmada kullanılan FK Şekil 3.1.'de konumu verilen Kastamonu yöresinden temin edilmiştir. Yöredeki ekmek fırınlarında Şekil 3.2.'de verilen fındık kabukları yakılmakta olup, fırın sahipleri fındık kabuğu ile üretilen ekmeklerin daha lezzetli olduğu ve bu yüzden bölge halkının fındık kabuğunun kullanıldığı fırınları tercih ettiğini belirtmektedirler.



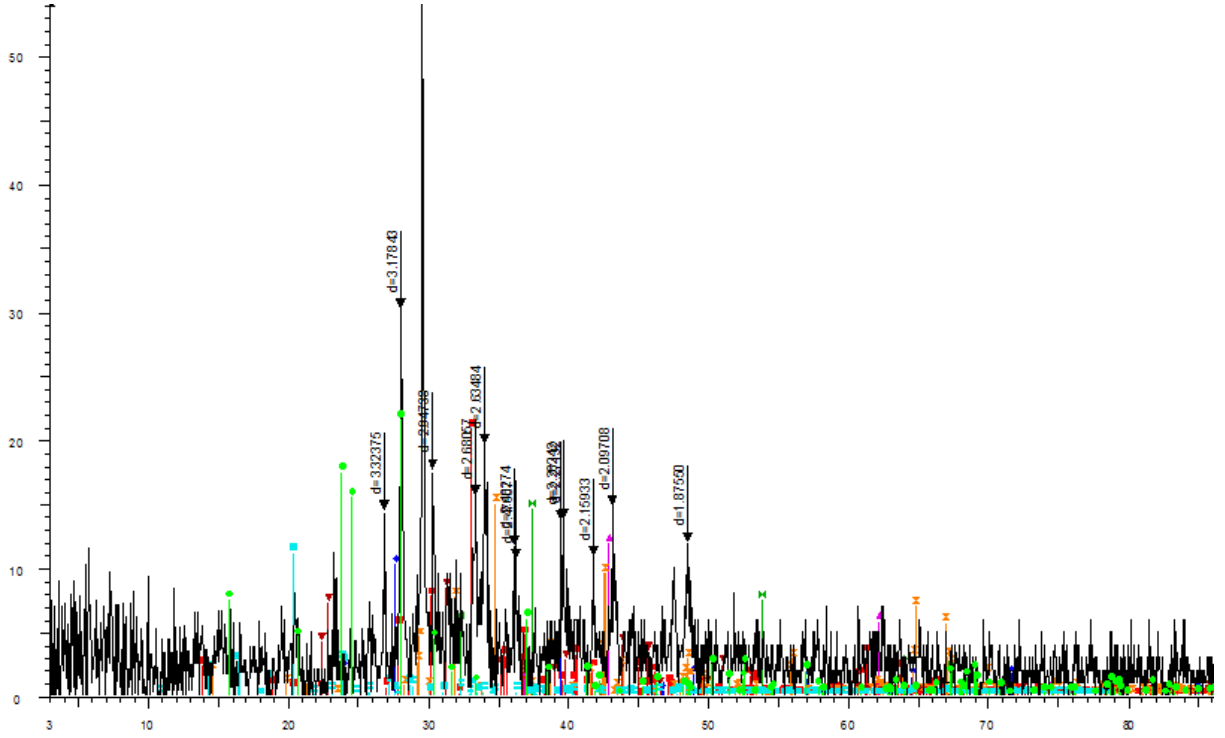
Şekil 3.1. FK temin edilen Kastamonu yöresi

Fırınlarda FK yakılması ile oluşan küllerin tamamı çevreye atılmakta ve çevresel sorunlara neden olmaktadır. Çalışma kapsamında, FK'nın hem doğaya vereceği zararların önüne geçilmesi hem de atık bir malzemenin faydalı bir ürüne dönüştürülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.2. FK üretimi

Araştırma kapsamında kullanılan FK'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de ve mineralojik özelliklerini belirlemek için yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 3.3.'de verilmiştir. Çizelge 3.1. ve Şekil 3.3.'den görüldüğü gibi FK içerisinde kuvars (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) toplam miktarı %74 olarak bulunmuştur. Puzolan malzemelerde TS-25 standartlarında belirtildiği gibi kuvars (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) bileşenlerinin toplam miktarının en az %70 olması gerekmektedir (Erdoğan ve Erdoğan, 2007). FK içerisinde bu bileşenlerin toplam miktarının ilgili standartta belirtilen sınır değerlerin üzerinde olması, FK'nın puzolanik aktiviteye sahip bir malzeme olarak değerlendirilebileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 3.3. FK XRD analiz

Çizelge 3.1. FK fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)		2,8133
Elek üzerinde kalan (%)	90 µ	5,01
	200 µ	0,49
Özgül Alan (cm ² /g)		22.482
SiO ₂		39,91
Na ₂ O		8,23
Al ₂ O ₃		7,83
Fe ₂ O ₃		23,71
K ₂ O		5,42
B ₂ O		3,72
CaO		1,9
MgO		7,2
K.Kayıbı		2,02

3.1.2. Fındık Kabuğundan Üretilen Briket Külü (FBK)

Araştırmada kullanılan FBK Şekil 3.4.'de verilen Düzce yöresinden temin edilmiştir. Şekil 3.5.'de verilen fındık kabuğu briketleri sağladığı yüksek enerji nedeniyle ısınma ve enerji üretimi için bölgedeki tavukçuluk işletmeleri, konutlar, enerji üretimi yapan fabrikalar ve seralarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

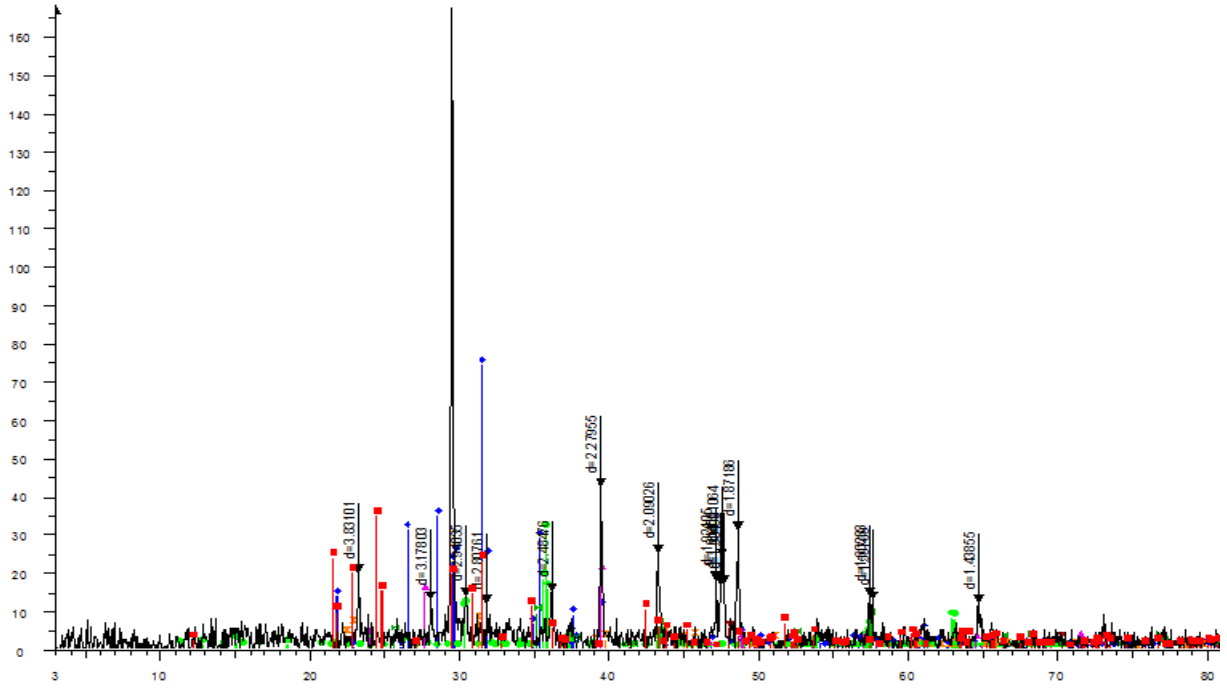


Şekil 3.4. FBK temin edilen Düzce yöresi



Şekil 3.5. Fındık kabuğundan üretilen briket ve yakılma sonucu oluşan küller

FBK 'nın mineralojik özellikleri yapılan XRD analizi sonucuna göre belirlenmiş ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Çizelge 3.2.'de verilen fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre FK'ya göre biraz daha düşük oranların elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu azalmanın nedeni briketleme işlemi esnasında az da olsa yapıştırıcı madde kullanılması ve kullanılan bu maddelerin kimyasal bileşimde değişiklikler oluşturmasıdır. FBK içerisinde %28 oranında SiO_2 , %23 oranında Al_2O_3 ve %19 oranında Fe_2O_3 bulunmaktadır. Puzolan malzemelerde TS-25 (2008) standartlarına göre toplam kuvars (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) bileşenlerinin en az %70 olması gerekliliği FBK için sağlanmaktadır. Bu bakımdan FBK'nın puzolan malzeme olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.



Şekil 3.6. FBK XRD analizi sonuçları

Çizelge 3.2. FBK fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)		2,6032
Elek üzerinde kalan (%)	90 µ	4,8
	200 µ	0,4
Özgül Alan (cm ² /g)		22.513
SiO ₂		28,93
Na ₂ O		3,23
Al ₂ O ₃		23,74
Fe ₂ O ₃		18,26
K ₂ O		1,42
B ₂ O		3,58
CaO		1,46
MgO		3,2
K.Kayıbı		7,6

3.1.3. Çimento

Çalışmada Bartın Çimento tesislerinde üretilen ve TS EN 197-1 (2012) standartlarına uygun CEM I A-LL 42,5 sınıfında çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Özellikler
---------------------	---------------------

Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,10	Toplam SiO ₂	18,80
Hacim genişmesi (mm)	1,0	Çözünmeyen SiO ₂	0,51
Priz başlama (min)	172	Çözünen SiO ₂	18,29
Priz bitişi (min)	235	Al ₂ O ₃	5,29
Blane (cm ² /g)	4.271	Fe ₂ O ₃	2,89
90 µm elek kalıntısı (%)	4,7	CaO	62,82
200 µm elek kalıntısı (%)	0,2	MgO	2,44
Basınç Dayanımı (MPa)		SO ₃	3,29
2.gün	36,3	Cl	0,076
7. gün	44,9	Na ₂ O	1,21
28. gün	54,2	Kızdırma Kaybı (%)	3,34

3.1.4. Agregata

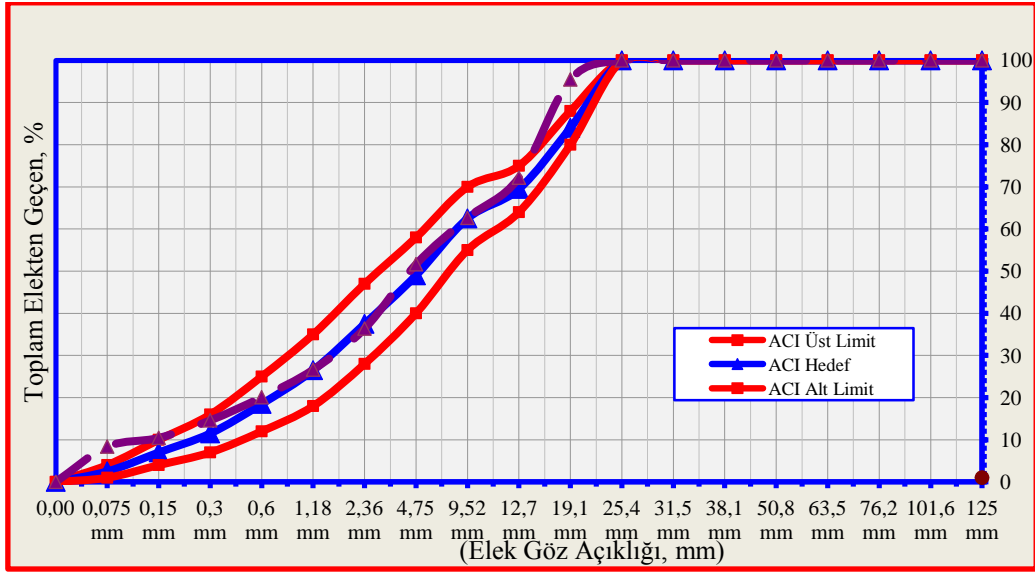
Beton üretiminde agregata olarak Kastamonu yöresindeki taş ocaklarından temin edilen kalker esaslı agregata kullanılmıştır. Tane çapına göre 0-5 mm, 5-12 mm ve 12-22 mm aralığındaki üç farklı boyutta agregata kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Agregata Tane Büyüklüğü (mm)			Standartlar
	0-5	5-12	12-22	
Agregaların Yassılık İndeksi	-	9	10	TS EN 933-3 (2015)
Agregaların Şekil İndeksi	-	8	7	TS EN 933-3 (2015)
Kavkı (Kabuk) İçeriği (%)	-	0- SC10	0-SC10	TS EN 933-3 (2015)
Çok ince malzeme içeriği (%)	5,1	0,9	0,7	TS EN 933-3 (2015)
Metilen Mavisi Deneyi (g/kg)	1			TS EN 933-9+A1 (2014)
Los Angeles Katsayısı (%)	27- LA30			TS EN 933-9+A1 (2014)
Tane Yoğunluğu (mg/m ³)	2,40 2,51 2,69	2,46 2,55 2,70	2,48 2,56 2,70	TS ISO 3507 (2018)
Su Emme (Wa-%)	4,5	3,5	3,4	TS 706 EN 12620+A1 (2009)
Donma Çözünme Direnci (%)	10			TS 706 EN 12620+A1 (2009)

Alkali Silika Reaktivliği (%)	0,013	TS EN 1367-4 (2015)
Klorür oranı (%)	0,004	TS EN 1367-4 (2015)
Asitte Çözünebilen Sülfat (%)	0,094	TS EN 1367-4 (2015)
Toplam Kükürt (%)	0,426	TS EN 1367-4 (2015)

Kullanılan agregaların TS EN 933-1 (2012) standartlarına uygun tane dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılan elek analizi sonucunda çizilen granülometre eğrisi Şekil 3.7.'de verilmiştir. Kullanılan agregalar TS EN 933-1 (2012) standardında verilen sınırlar içerisinde kalmıştır.



Şekil 3.7. Beton agregası tane dağılım eğrisi (granülometri eğrisi)

3.1.5. Su

Standartlarda (TS EN 1008 (2003)) ve literatürde (Ekmekyapar ve Örüng, 1997) beton üretiminde karışım suyu olarak içilebilir nitelikte olan tüm suların kullanılabileceğinde bahsedilmektedir. Bu gerekliliğe uygun olarak çalışmada DSİ Kastamonu 23. Bölge Müdürlüğünde bulunan şebeke suyu karışım suyu olarak kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışma DSİ Kastamonu 23. Bölge Müdürlüğü'ndeki Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yürütülmüş olup, çalışmada agrega, çimento, su ve puzolan olarak FK ve FBK ile 300 dozlu hedef dayanımı C25 olan beton üretilmeye çalışılmıştır. Araştırma

konularını puzolan olarak farklı oranlarda çimento ile yer değiştirmeli kullanılan FK ve FBK oluşturmaktadır. Araştırma konularını oluşturan FK ve FBK, TS EN 450-1 (2013) ve TS EN 450-2 (2008) standartlarına uygun yüzdelerde olacak şekilde çimento ağırlığının %0, %5, %10,%15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılmış ve her bir kül için toplam 5 konu oluşturulmuştur. Fındık kabuğu kül katkılı beton örnekleri için çimento ile yer değiştirme oranlarına bağlı olarak sırasıyla FK-0, FK-5, FK-10, FK-15 ve FK-20 şeklinde ve fındık kabuğu briket kül katkılı örnekler için ise FKB-0, FKB-5, FKB-10, FKB-15 ve FKB-20 şeklinde isimlendirilmiştir.

Bütün malzemeler laboratuvar şartlarında hassas elektronik terazide tartılarak Şekil 3.8.'de verilen beton karma makinesine yerleştirilmiştir. Karışım suyu makine haznesine konulmadan önce Şekil 3.9.'da verilen kül katkıları ile tüm malzemeler karıştırılarak homojen bir karışım oluşturulmuş, daha sonra su ilave edilmiştir.



Şekil 3.8. Araştırmada kullanılan laboratuvar tipi beton mikseri



Şekil 3.9. Araştırmada kullanılan fındık kabuğu külü

Çoğunlukla puzolan kullanılarak üretilen betonların net su/çimento oranı yeterli doğrulukta saptanamadığından, beton karışım hesapları çimento dozaj ve hedeflenen beton

kıvamına göre bir seri deney karışımı yapılmaktadır. Bu çalışmada üretilen hafif betonların çökme değeri yaklaşık 13 ± 1 cm olacak şekilde bir seri deney karışımı yapılarak gerekli yoğurma suyu miktarları belirlenmiştir TS-EN 12350-2 (2019). Dökülen taze beton örneklerinde birim hacim ağırlık ve hava içeriği deneyleri TS EN 12350-6 (2010) ve TS-EN 12350-7 (2010) da belirtilen metotlar ile belirlenmiştir.

Her bir konuda üç paralel olarak yapılan beton testleri için toplam 320 adet küp örnek ($15 \times 15 \times 15$ cm³) hazırlanmıştır. Küp örneklerin hazırlanmasında taze beton kalıplara 3 seferde doldurulacak şekilde dökülmüş ve Şekil 3.10.'da verildiği gibi her dökümde işleme çubuğu ile 25 kez şişlenerek yerleştirilmiştir (TS EN 12390-2, 2019).



Şekil 3.10. Kalıplama işlemi

Şekil 3.10.'da verilen kalıplara dökülen örnekler 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış ve deney gününe kadar Şekil 3.11.'de verildiği gibi 23 ± 2 °C sıcaklıkta su içerisinde bekletilerek normal kür uygulanmıştır (TS EN 12390-2, 2019). Hazırlanan örneklerin 7, 28 ve 90 gün sonunda birim ağırlık TS-EN 12390-7 (2019)'da, ses geçiş hızı TS EN 12504-4 (2012)'de, basınç dayanımları TS-EN 12390-3 (2019)' de, yarma dayanımı TS-EN 12390-6 (2010)' da, 28 ve 90. günde dona dayanıklılık TSE CEN/TR 15177 (2011)'de, permeabilite katsayısı TS:EN206:2013+A1 (2017)' de belirtilen esaslara göre ve 28. günde ısı iletkenlik katsayısı QTM 500 cihazı ile ve 7, 28 ve 90 günde su emme TS-EN 12390-7 (2019)' de belirtilen yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Ses geçiş ve birim hacim ağırlık değerlerine göre ASTM C 597-83 (1991) standartlarına uygun olarak 7, 28 ve 90 günlük tüm örnekler için dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır. Ayrıca üretilen örneklerin mikro yapılarının incelenmesi için Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi NABİLTEM bünyesinde SEM görüntüleri çekilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı ise QTM 500 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar istatistiki açıdan incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.11. Beton örneklerinin dökümü ve kür

3.2.1. Taze Beton Deneyleri

Yapılan araştırma kapsamında dökülen taze beton örneklerinde yapılan birim ağırlık ve hava içeriği deneyleri öncesinde, net su/çimento oranı için belirlenen 0,58 değerini elde etme amacıyla seri deney karışımları yapılmıştır. Kül katkılarının tane büyüklüklerinin ve özgül yüzey alanlarının çimentoya göre daha fazla olmasından kaynaklı olarak, deney karışımlarında su ihtiyacı ve su/çimento oranları yükselmiştir. Kül katkılarına göre su/çimento oranları, %5 katkıda 0,60, %10 katkıda 0,62, %15 katkıda 0,63 ve %20 katkıda 0,65'e çıkmıştır. Farklı kül oranları için elde edilen su/çimento oranları deney karışımları sonucunda dengelenmiş olup, tüm katkı oranlarında 0,58 su/çimento oranı sağlanmıştır.

3.2.1.1. Hava İçeriği Deneyi

Her katkı oranında taze haldeki örneklerin içerisindeki hava boşluğunu ölçmek için TS EN 12350-7 (2010) uygun olarak, Boyle-Mariotte kanununa göre basınç ölçme metodu ile Şekil 3.12.'de verilen hava muhtevasının tayini havametre deneyi ile yapılmıştır. Beton, hava ölçme kabına, mümkün olduğu kadar içerisinde hapsolmuş hava kalmayacak şekilde kepçe ile doldurulmuştur. Beton, kap içerisine, yaklaşık eşit kalınlıkta üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her beton tabakası, kap içerisine konulduktan hemen sonra, ayrışma ve yüzeyde aşırı miktarda şerbet toplanmaması şartıyla tam sıkışma elde edilinceye kadar sıkıştırılmıştır. Aşırı ayrışma olmaması için tam sıkışma, mekanik vibrasyon uygulanarak, hava kabarcıklarının ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Vibrasyon, titreşim masası yardımıyla betonda tam sıkışma elde edilmesi için gerekli en az süreyle uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre farklı kül cinslerinin, farklı oranlarda kullanılması ile oluşan boşluk oranı üzerindeki değişiklik belirlenmiştir.



Şekil 3.12. Taze beton hava içeriği deneyi

3.2.1.2. Birim Ağırlık Deneyi

İki farklı kül katkısının farklı oranlarda kullanımının taze betonun birim ağırlığı üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla TS EN 12350-6 (2010) standartlarına uygun şekilde birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Deney kapsamında alınan taze beton örnekleri, birim hacmi ve kütlesi daha önceden bilinen sızdırmaz bir kap içerisine doldurulup titreşim masası yardımıyla boşluksuz hale getirildikten sonra tartılmıştır. Ölçülen ağırlığının kap hacmine oranlanması ile taze betonların birim ağırlıkları belirlenmiştir.

3.2.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Dökülen beton örnekleri 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda sertleşmiş beton deney günlerine kadar su içerisinde bekletilmiştir. Sertleşmiş beton deneyleri olarak 7, 28 ve 90 gün sonunda birim ağırlık, ses geçiş hızı, basınç dayanımı, yarma dayanımı, permeabilite, su emme deneyleri; 28 ve 90. günde dona dayanıklılık, permeabilite deneyleri; sadece 28 günde ısı iletkenlik katsayısı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca ses geçiş ve birim ağırlık deney sonuçlarına göre dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır.

3.2.2.1. Birim Ağırlık Deneyi

Üretilen beton örneklerinin birim ağırlıkları, farklı kül ve farklı kullanım oranları için 7. 28. ve 90. günlük kür süresi sonunda TS EN 12390-7 (2019) 'ya uygun belirlenmiştir. Birim ağırlık deneyi Şekil. 3.13.'te sunulmuştur.



Şekil 3.13. Sertleşmiş beton birim ağırlık deneyi

3.2.2.2.Ses Geçiş Hızı Deneyi

Sertleşmiş beton örneklerinde ses geçiş hızları TS EN 12504-4 (2012)'de belirtildiği gibi Teco Velocity cihazı kullanılarak, Şekil 3.14.'de verilen örneklerin kalıpla temas eden pürüzsüz yüzeylerinden ölçülmüştür. Bu yöntemde örneğin bir yüzeyinden ultra ses dalgalarının örnek içerisinde geçiş süresi belirlenerek ses geçiş hızı formül (3.1.) ile hesaplanmaktadır. Değerler km/s olarak belirlenip deney raporuna kaydedilmiştir.

$$V = L / t$$

(3.1)

V : Ses hızı, km/s

L : Örnek boyu, km

t : Ses geçiş süresi, s



Şekil 3.14. Örnekler üzerinde ses geçiş hızı ölçümü

3.2.2.3.Su Emme Deneyi

Su emme deneyi sertleşmiş beton örneklerinde TS-EN 12390-7 (2019) standartlarına uygun şekilde öncelikle etüv yardımı ile $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık koşullarında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler elektronik terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Tartım sonrası 24 saat boyunca suda bekletilerek doymun hale getirilmiş ve tekrar tartılarak ağırlıkları deney raporuna kaydedilmiştir. Etüv kuru ve suya doymun ağırlıklarından yararlanarak formülle (3.2.) su emme miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme Oranı (\%)} = [(G2-G1)/(G1)] \times 100 \quad (3.2)$$

G1: Etüv kuru ağırlığı, g

G2: Kuru yüzey doymun ağırlığı, g

3.2.2.4.Donma Çözülme Deneyi

Donma çözülme deneyi TSE CEN/TR 15177 (2011) standartlarına uygun şekilde tekrarlı olarak farklı iklim koşulları programlanarak gerçekleştirilmiştir. 28. ve 90. günlük suya doymun örnekler 50 tekrarlı şekilde -20°C sıcaklıkta 12 saat süreyle dondurucuda bekletildikten sonra, 20°C oda sıcaklığında 12 saat süreyle çözülmeye bırakılmıştır. Daha sonra TS-EN 12390-3 (2019) standartlarına göre basınç dayanımı deneyleri uygulanmış ve en büyük yük kaydedilmiştir. Bulunan en büyük yük değeri formül (3.3.) kullanılarak dayanım değerleri hesaplanmıştır.

$$\sigma = P / A \quad (3.3.)$$

σ : Basınç dayanımı, MPa

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A : Örneğin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, m².

3.2.2.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş beton örnekleri TS-EN 12390-3 (2019) standardına uygun olarak örneklerin döküm yönüne dik olacak şekilde tek eksenli hidrolik pres aleti kullanılarak dayanım deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.15.). Örneklerin kırılması öncesinde ulaşılan en büyük yük deney raporuna kaydedilmiş olup formül (3.4.) yardımıyla dayanım değerleri belirlenmiştir.

$$\sigma = P / A \quad (3.4.)$$

σ : Basınç dayanımı, MPa

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A : Örneğin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, m².



Şekil 3.15. Örnekler üzerinde uygulanan basınç dayanımı deneyi

3.2.2.6. Yarma Dayanımı Deneyi

Yarma dayanımı deneyleri TS-EN 12390-6 (2010) standartlarına uygun olarak sertleşmiş beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ikiye bölünüp yarılmasını sağlayan en büyük yüke ulaşıldığında deney sonuçlanmış olup (Şekil 3.16.), formül (3.5.) yardımıyla yarma dayanımı değerleri hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = 2 \times F / (\pi \times L \times d) \quad (3.5.)$$

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa

F: En büyük yük, N

L: Örneğin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d: Örneğin seçilen en kesit boyutu, mm



Şekil 3.16. Örnekler üzerinde uygulanan yarma dayanımı deneyi

3.2.2.7. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Sertleşmiş beton örneklerinde ASTM C 1113-90 (2004) standartlarına uygun şekilde sıcak tel yöntemi (Hot Wire Method) kullanılarak örnek boyunca sabit ve düzgün bir ısı verilmiş ve belirli aralıklarda ısı farkları ölçülmüştür. Tüm örnekler için Şekil 3.17.'de verilen QTM-500 marka cihaz kullanılarak ölçülen ısı farkları deney raporuna kaydedilmiştir.



Şekil 3.17. Örneklerin Isı iletkenlik katsayısı ölçümü

3.2.2.8. Permeabilite'nin (Geçirimsizlik) Belirlenmesi

Sertleşmiş beton örneklerinde TS EN 206:2013+A1 (2017) standartlarına uygun şekilde her örneğe su ve hava girişi sağlanmış ve mevcut durum permeabilite cihazından takip edilmiştir. Daha sonra su ve hava koşulları uygulanan örneklere basınç uygulanmıştır. Su

içerisinde kür uygulanmış sertleşmiş örneklerde, basınç altında su işleme derinliğinin tayini cihazda bulunan büretten okunarak deney raporuna kaydedilmiştir (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Permabilite (geçirimlilik) deneyi

3.2.2.9. Dinamik Elastisite Modülünün Hesaplanması

Sertleşmiş beton örneklerinin ses geçiş ve birim ağırlık deneylerinin tamamlanması sonrasında ASTM C 597-83 (1991) standartlarına uygun şekilde formülden (3.6.) yararlanarak dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır. Araştırmada kırmataş agrega malzemesi kullanıldığından dolayı poisson oranı 0,21 olarak alınmıştır.

$$E_d = \Delta V^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \quad (3.6.)$$

Ed: Dinamik elastisite modülü (GPa)

V: Ses geçiş hızı (km/s)

D: Yoğunluk (kg/m³)

3.2.2.10. SEM Analizi

Beton örneklerinin iç yapılarının incelenmesi amacıyla QUANTA FEG 250 marka cihaz kullanılarak yüksek voltaj ile elektronların örnekler üzerinde odaklanması ile SEM analizi yapılmıştır.

3.2.2.11. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Maliyet Analizi

Tüm deney sonuçlarının her iki kül katkısı için değerlendirilme işlemleri istatistikî analizler yardımıyla yapılmıştır. Duncan karşılaştırma testi, regresyon analizi yapılarak tüm katkı oranlarında elde edilen sonuçların yorumlanması sağlanmıştır (Ergün, 1995; Orhunbilge, 2002)

Kül katkılarının ekonomik olarak sağlayacağı avantajı belirlemek için maliyet analizi yapılmıştır. Bu amaçla beton örneklerinde kullanılan tüm malzemelerin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı birim fiyatları belirlenmiş (Anonim, 2020) ve miktarlarına bağlı olarak 1 m³ beton içerisindeki maliyetleri hesaplanmıştır.

Şahit örnek için hesaplanan maliyet iki farklı kül katkısının farklı oranları ile üretilen beton örnekleri için hesaplanan maliyetler ile karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Beton üretiminde çimento ile yer değiştirmeli olarak farklı oranlarda FK ve FBK kullanılmasının beton özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi için yapılan deneyler taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri başlığı altında verilmiştir. Sonuçlar FK ve FBK için ayrı ayrı ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

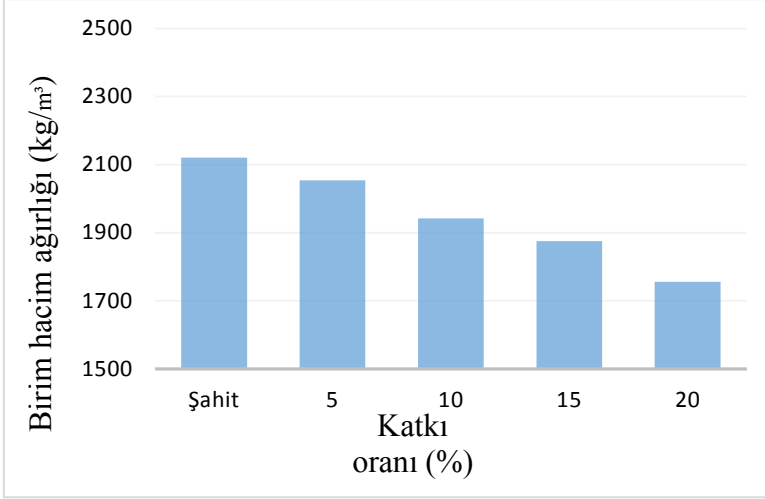
4.1. FK Katkılı Beton

Beton üretiminde çimento yerine FK kullanılmasının taze beton özellikleri olarak birim ağırlık ve hava içeriği üzerine, sertleşmiş beton özellikleri olarak birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme oranı, dinamik elastisite modülü, donma-çözülme deneyi, permeabilite, ses geçiş hızı ve ısı iletkenlik katsayısı üzerine etkileri belirlenmiştir. Ayrıca beton örneklerinin mikro yapılarının incelenmesi amacıyla her katkı oranı için SEM görüntüleri çekilmiş ve mikro yapıları incelenmiştir.

4.1.1. Taze Beton Özellikleri

4.1.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

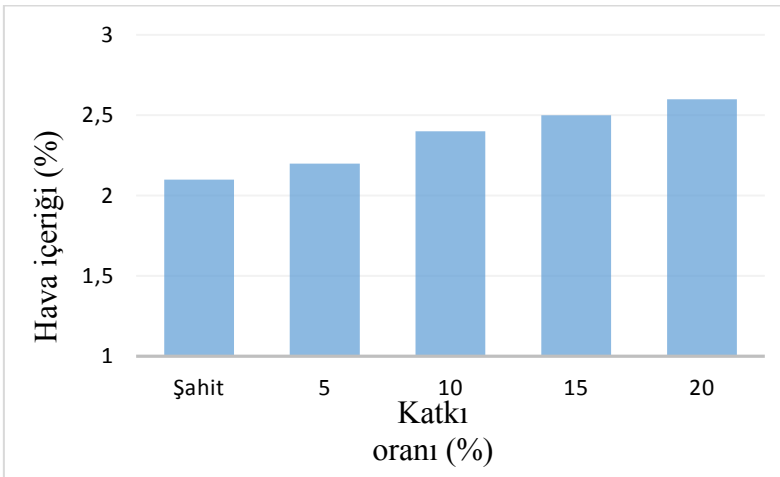
FK kullanarak üretilen taze beton örneklerinin birim ağırlık deneyleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Karışıma giren kül katkısı ile ters orantılı olarak birim ağırlıkları 2.121 kg/m^3 ile 1.756 kg/m^3 arasında değişmiştir. Karışıma giren %5, 10, 15 ve 20 kül oranları için taze beton birim ağırlıklarındaki azalma sırasıyla % 5 katkıda %3,15, %10 katkıda %8,43, %15 katkıda %11,59 ve %20 katkıda %17,20 oranında gerçekleşmiştir. Birim ağırlıktaki bu düşüş FK'nın özgül ağırlığının çimentoya göre daha düşük olmasının doğal bir sonucudur.



Şekil 4.1. FK katkılı taze beton örneklerinin birim ağırlık değişimi

4.1.1.2. Hava İçeriği Deneyi

Taze beton örnekleri üzerinde yapılan hava içeriği deney sonuçları Şekil 4.2.'de sunulmuştur. Şekil 4.2.'den de görüldüğü gibi karışıma giren kül miktarı ile hava içerikleri artmıştır. En düşük hava içeriği %0 kül oranı ile şahit örnekte %2,1 olarak, en yüksek ise %20 kül oranında %2,6 olarak belirlenmiştir. Karışıma giren %5, 10, 15 ve 20 kül oranları için taze beton hava içeriklerindeki artış sırasıyla %4,76, %14,28, %19,04 ve %23,80 oranında gerçekleşmiştir. Karışıma giren kül miktarı ile taze beton hava içeriklerinin değişimi taze beton birim ağırlık değişimleri ile beklendiği gibi uyumludur. Elde edilen sonuçlar FK'nın beton içerisindeki boşluk oranını arttırdığını göstermiştir.



Şekil 4.2. FK katkılı taze beton örneklerinin hava içeriği değişimi

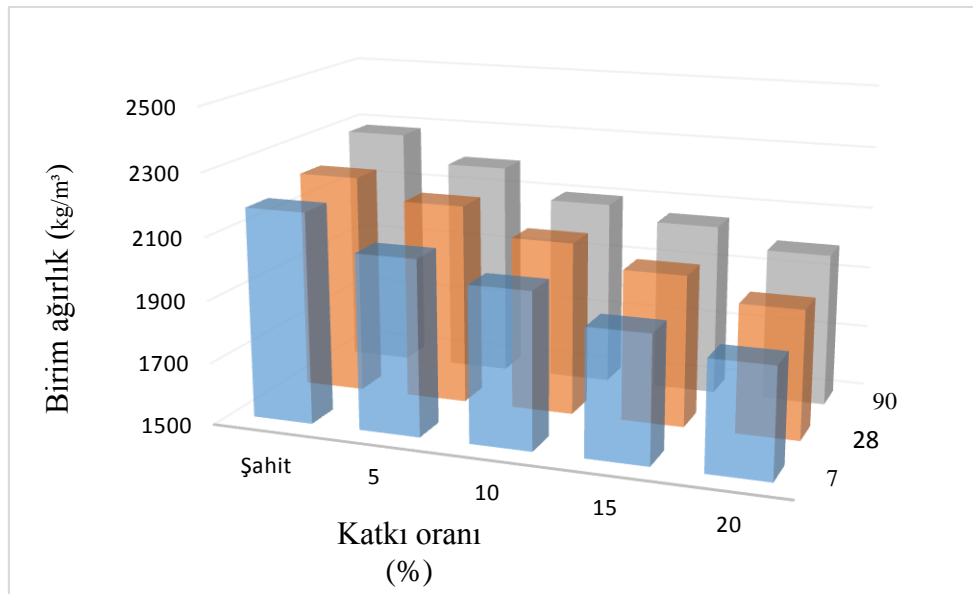
4.1.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

4.1.2.1. Birim Ağırlık Deneyi

Üretilen beton örneklerinin 7, 28 ve 90 günlük birim ağırlık deneyi sonuçları Şekil 4.3.de sunulmuştur. Karışıma giren kül miktarına bağlı olarak 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için birim ağırlıklar sırasıyla 2.175-1.850 kg/m³, 2.210-1.914 kg/m³ ve 2.286-1.993 kg/m³ arasında değişmiştir. Karışıma giren %5, %10, %15 ve %20 kül miktarına bağlı olarak şahit örneğe göre birim ağırlıktaki düşüşler 7 günlük kür süresi için %5,19, %8,14, %12,37 ve %14,94 oranındadır. 28 günlük kür süresi için %2,94, %6,97, %10,13 ve %13,39 oranında ve 90 günlük kür süresi için ise %3,89, %8,09, %10,06 ve %12,81 oranında gerçekleşmiştir.

Kür süresi arttıkça birim ağırlıklar artmıştır. Bu artış 28 günlük örneklerdeki birim ağırlıkların 7 günlük örneklere göre %3,20 seviyesinde, 90 günlük örneklerde ise 28 günlük örneklere göre %3,10 seviyesinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

FK'nın özgül ağırlığının çimentoya göre daha düşük olması kül miktarındaki artışa bağlı olarak birim ağırlıkların azalmasının sebebidir. Özellikle karışıma giren kül miktarının %10'un üzerinde olması durumunda üretilen betonların birim ağırlıklarının literatürde hafif betonlar için verilen 2.000 kg/m³ sınırının altında kalması nedeniyle hafif beton olarak tanımlanır.



Şekil 4.3. FK katkılı örneklerin birim ağırlık değişimi

Birim ağırlık sonuçları üzerinde yapılan varyans analizi ve Duncan sınıflandırması Çizelge 4.1.'de verilmiştir. FK katkılı örneklerin birim ağırlıklarının varyans analizine göre kür süresi ve katkı yüzdeleri anlamlı derecede önemli bulunmuştur. Kür*katkı etkileşimi açısından anlamlı bir etki bulunmamıştır. Duncan sınıflandırmasına göre kür süreleri ve katkı yüzdelerinin tümü farklı sınıflarda yer almıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. FK katkılı örneklerin birim ağırlıklarının varyans analizi

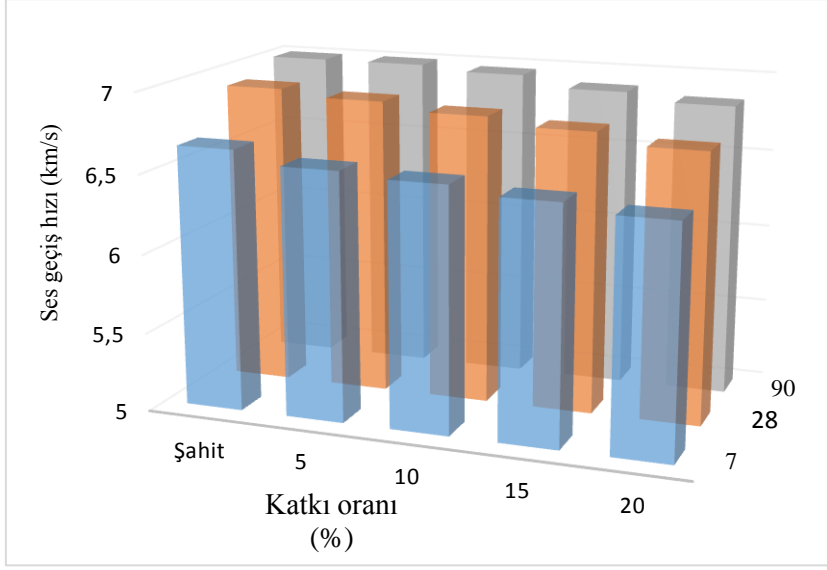
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Birim ağırlık (kg/m ³)	7	2.175	2.062	1.998	1.906	1.850	1.998 a	0,000	0,000	0,145
	28	2.210	2.145	2.056	1.986	1.914	2.062 b			
	90	2.286	2.197	2.101	2.056	1.993	2.126 c			
	Ortalama	2.223 a	2.134 b	2.051 c	1.982 d	1.919 e	2.062			

LSD (*p<0,05)

Örneklere tüm kür sürelerinde FK'nın artması örneklerin birim ağırlığını azaltıcı etki yapmıştır. FK'nın yoğunluğunun çimentoya göre daha düşük olması daha boşluklu bir yapı sağlamış ve bu boşluklu yapı daha hafif örneklerin üretilmesini sağlamıştır. Örneklerin kül katkısı ile hafiflemesi özellikle tarımsal yapıların yükünü azaltması ve deprem riski bulunan bölgelerde can ve mal kaybını önleyici etki oluşturma imkanı sağlaması açısından dolayı olumlu bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır.

4.1.2.2.Ses Geçiş Hızı Deneyi

Üretilen beton örneklerinin ses geçiş hızı değişimleri Şekil 4.4.'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde kül katkısının ses geçiş hızına azaltıcı etki yaptığı görülebilir. Bu azalma %5,%10, %15 ve %20 kül oranları için sırasıyla 7 günlük örneklerde %1,21, %1,65, %2,41 ve %3,16 düzeyinde, 28 günlük örneklerde %0,58, %1,30, %2,03 ve %3,04 düzeyinde, 90 günlük örneklerde ise %0,43, %1,28, %2,27 ve % 2,98 düzeyinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. FK katkılı örneklerin ses geçiş hızı değişimleri

Sonuçların ışığında tüm konularda beton yaşı arttıkça puzolan miktarına bağlı olarak ses geçiş hızındaki değişim azalmıştır. Kür süresinde bulunan ortalama değerlere göre en yüksek ses geçiş hızı 6,96 km/s ile 90 günlük kür süresinde bulunmuş olup, en düşük ses geçiş hızı değeri ise 6,54 km/s ile 7 günlük kür süresinde tespit edilmiştir.

Ses geçiş hızı deney sonuçları üzerinde yapılan varyans analizi ve Duncan sınıflandırması Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm kür süreleri istatistiki açıdan farklı gruplarda yer almıştır. Benzer şekilde kül oranları açısından da yine tüm katkı yüzdeleri farklı sınıfta yer almıştır. Kür süreleri ve katkı yüzdelerinin ayrı ayrı anlamlı etkileri bulunmakta olup, kür*katkı etkileşimi açısından anlamlı bir etki bulunmamıştır.

Çizelge 4.2. FK katkılı örneklerin ses geçiş hızlarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Ses geçiş hızı (km/s)	7	6,65	6,57	6,54	6,49	6,44	6,54 a	0,000	0,000	0,542
	28	6,91	6,87	6,82	6,77	6,70	6,81 b			
	90	7,06	7,03	6,97	6,90	6,85	6,96 c			
	Ortalama	6,87 a	6,83 b	6,77 c	6,72 d	6,66 e	6,77			

LSD (*p<0.05)

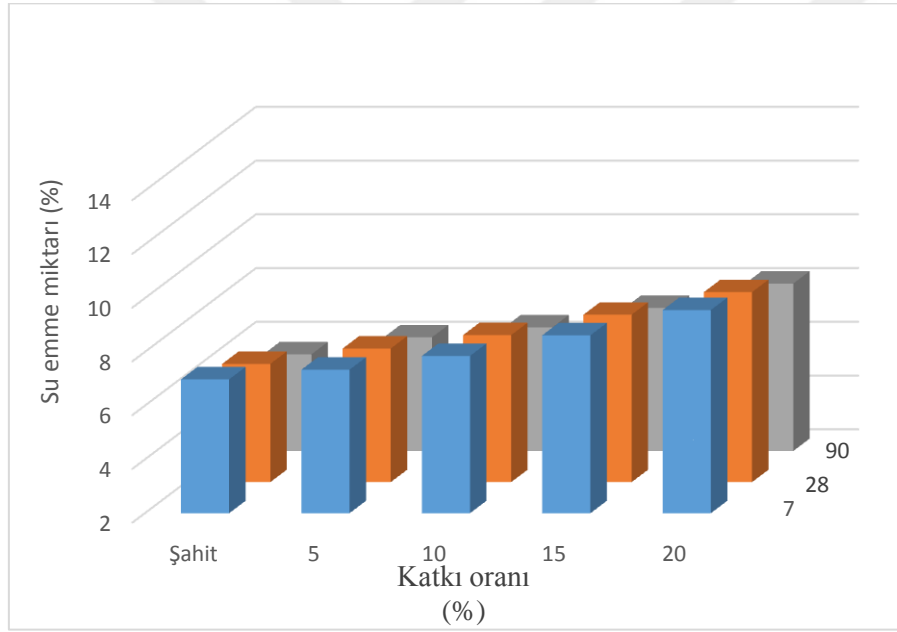
Neville (1996) tarafından ses geçiş hızı ile ilgili yapılan çalışmaya göre ses geçiş hızı değeri 4,5 km/s den fazla olan betonları mükemmel kalitede olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada FK ile dökülen beton örneklerinin tüm katkı yüzdelerinde ses geçiş hızları 4,5

km/s'nin üzerindedir. Dolayısıyla FK ile üretilen betonlar ses geçiş hızı açısından mükemmel sınıf içerisinde yer almakta olup, FK'nın ses yalıtımı açısından olumlu etki yaptığı söylenebilir.

4.1.2.3.Su Emme Deneyi

Üretilen beton örneklerinin farklı kür süreleri için su emme oranları Şekil 4.5.'de verilmiştir. Şekil 4.5.'te görülebileceği gibi karışıma giren kül miktarı ile su emme oranları artmıştır. Kür sürelerine bağlı olarak su emme oranlarındaki bu artış miktarı 7 günlük örneklerde %5,15 ile %36,96 arasında, 28 günlük örneklerde %8,9 ile %41,7 arasında ve 90 günlük örneklerde ise %11,25 ile %47 arasında değişmiştir.

Beton örneklerinin kür süresi arttıkça su emme oranları azalmıştır. FK artan kür süresine göre su emmeyi düşürmüştür ve olumlu etki yapmıştır.



Şekil 4.5. FK katkılı örneklerin su emme değişimleri

Kür sürelerine göre üretilen beton örneklerinin su emme oranları üzerinde yapılan varyans analizi ve Duncan gruplandırma testi sonuçları Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre FK'nın oluşturulan örneklerin kür süresine ve katkı yüzdelere göre anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı etkileşimi açısından anlamlı bir etki görülmemiştir. Kür süreleri ve katkı yüzdelere göre tamamı farklı sınıflarda yer almıştır.

Çizelge 4.3. FK katkılı örneklerin su emme oranlarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Su emme (%)	7	6,98	7,34	7,85	8,62	9,56	8,07 a	0,000	0,000	0,943
	28	6,40	6,97	7,47	8,23	9,07	7,63 b			
	90	5,60	6,23	6,60	7,33	8,23	6,80 c			
	Ortalama	6,00 a	6,60 b	7,03 c	7,78 d	8,65 e	7,21			

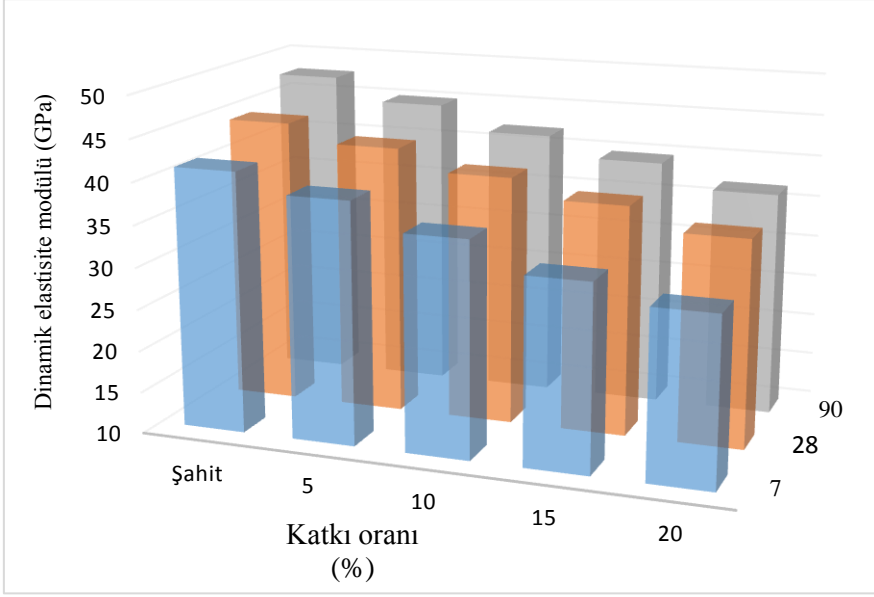
LSD (*p<0,05)

Ünal ve Uygunoğlu (2004) puzolan malzeme olarak kül katkısı kullandıkları bir çalışmada, erken yaşlarda su emme miktarlarının kül katkısı ile hızlı bir şekilde arttığını belirlemişlerdir. Ancak aynı kül oranı için daha geç yaşlarda ise erken yaşların aksine su emme oranlarının düşürdüğü gözlemlenmiştir. FK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması da aynı şekilde erken kür süresinde su emmeyi hızlı şekilde arttırmış olup, aynı kül oranlarında ilerleyen kür süresinde su emme miktarını her konuda düşürmüştür. İstatistiki analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre tüm katkı yüzdelerinde artan kür sürelerinde su emme oranlarında azalma elde edilmiştir. Literatür kapsamında değerlendirilen su emme değerlerine göre oluşturulan örneklerdeki FK katkısı artan kür süresinde su emme hızına olumlu etki yapıp, azalmasını sağlamıştır.

4.1.2.4. Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Şekil 4.6.'da verilen dinamik elastisite modülü hesaplamalarına göre kül katkısındaki artışla azalma meydana gelmiştir. Bu azalma 7 günlük örneklerde %5,53 - %27,12 arasında, 28 günlük örneklerde %4,76 - %21,34 arasında olmuştur. 90 günde ise %5,68 - %22,72 arasında azalma olmuştur.

Kür süresine göre değerlendirildiğinde en yüksek dinamik elastisite modülü 47,74 GPa ile 90 günlük kür süresinde elde edilmiş olup, bu değeri 28 günlük kür süresindeki 44,32 GPa değeri takip etmiştir. En düşük dinamik elastisite modülü ise 7 günlük kür süresinde elde edilen 30,04 GPa değeridir.



Şekil 4.6. FK katkılı örneklerin dinamik elastisite değişimleri

Dinamik elastisite modülü açısından yapılan istatistiki analiz sonuçlarına göre FK ile oluşturulan 7. ve 28. günlük kür süreleri aynı grupta, 90 günlük örnekler ise farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Örneklerin kür süresine ve katkı yüzdelere göre anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı etkileşimi açısından da anlamlı bir etki olduğu belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi ve Duncan sınıflandırma testi Çizelge 4.4.'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. FK katkılı örneklerin dinamik elastisite modülü değerlerinin varyans analizi

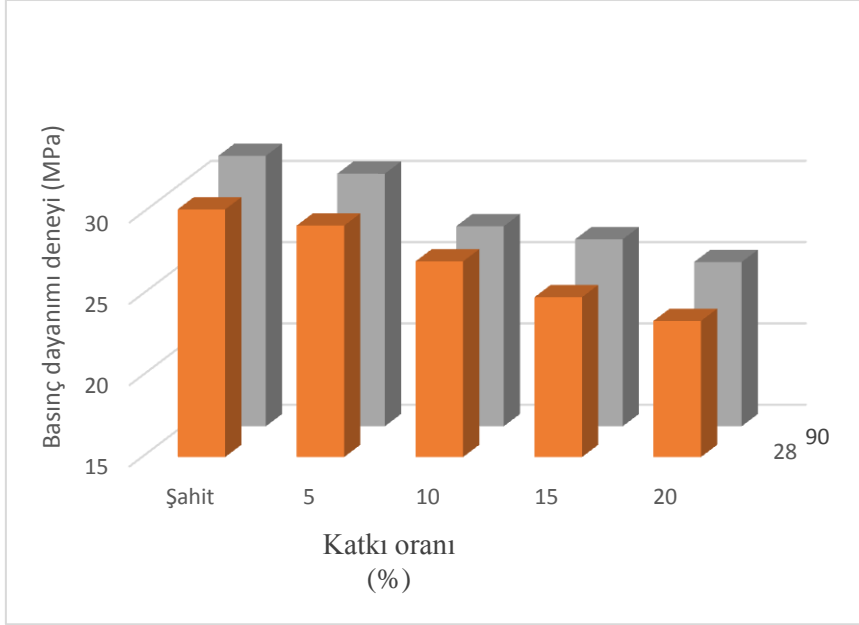
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Dinamik elastisite modülü (GPa)	7	41,22	38,94	35,72	32,21	30,04	35,63 a	0,000	0,009	0,000
	28	44,32	42,21	39,73	37,51	34,86	39,73 a			
	90	47,74	45,03	42,11	39,7	36,89	42,23 b			
	Ortalama	44,43 a	42,06 b	39,19 c	36,47 d	33,93 e	39,22			

LSD (*p<0,05)

4.1.2.5. Donma Çözünme Deneyi

Şekil 4.7.'de verilen deney sonuçlarına göre donma-çözünme tekrarları sonrası dayanım değerleri katkı yüzdelere göre azalmıştır. Bu azalma oranı 28 günde %3,3 - %22,7 aralığında olup, 90 günde ise %3,47 - %20,64 aralığında olmuştur.

Kür süresine göre ortalama deęerler incelendięinde en dūřuk deęer 28 gūnlük kūr sūresinde elde edilen 26,94 MPa olup, en yūksok deęer 90 gūnlük kūr sūresi sonunda elde edilen 28,21 MPa deęeridir. FK artan kūr sūresine gōre donma ōzūnme sonrasında elde edilen basınc dayanimında artıř saęlamıř ve olumlu etki yapmıřtır.



řekil 4.7. FK örneklerin donma ōzūnme deneyi sonucu basınc dayanim deęiřimleri

Yapılan deneylere gōre varyans analizi ve sonuçların sınıflandırılma iřlemleri yapılmıřtır. Çizelge 4.5.'te verilen istatistiki analizlere gōre donma ōzūnme deneylerinde elde edilen sonuçların kūr sūresine, katkı yūzdelerine ve kūr*katkı etkileřimlerine gōre anlamlı etkisi bulunmaktadır. Duncan testi sonuçlarına gōre kūr sūreleri ve katkı yūzdeleri kendi aralarında farklı sınıflarda gruplanmıřlardır.

Çizelge 4.5. FK katkılı örneklerin donma-ōzūnme deęerlerinin varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kūr	p katkı	p kūr*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Basınc dayanimı (MPa)	28	30,23	29,23	27,03	24,83	23,37	26,94 a	0,000	0,000	0,002
	90	31,63	30,53	27,30	26,50	25,10	28,21 b			
	Ortalama	30,93 a	29,88 b	27,17 c	25,67 d	24,23 e	27,58			

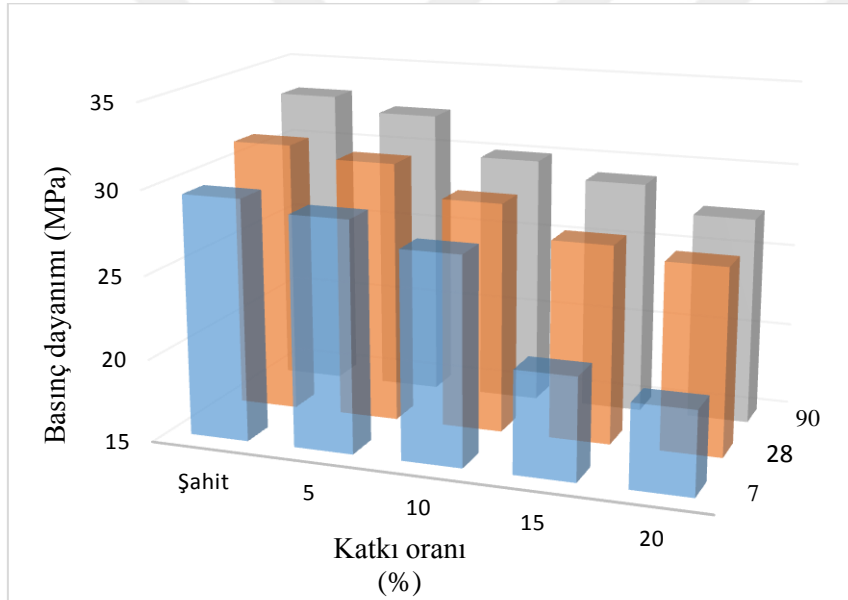
LSD (*p<0,05)

Donma ōzūlme çevrimi sonrası basınc dayanimları, çevrim yapılmadan bulunan basınc dayanimlarına gōre 28 gūnlük örneklerde %4,7-11,7 arasında ve 90 gūnlük örneklerde ise %4,7- 9,0 arasında dayanim kaybına uęramıřtır. Ekmekyapar ve rūng (1993), Erdoęan

(2007), ve Şişman ve ark. (2008), donma çözünme tekrarları sonucunda ortaya çıkan basınç kaybının % 20'nin altında kalması durumunda betonun herhangi bir zarar görmeyeceğini ve soğuk bölgelerde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada üretilen bütün beton örnekleri bu sınırın altında kalmıştır. Bu bakımdan FK soğuk iklim bölgelerinde puzolan malzeme olarak kullanılabilir.

4.1.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.8.'de sunulan deney sonuçlarına göre tüm kür süreleri için karışıma giren kül miktarı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Azalma oranları %5, %10, %15 ve %20 katkı oranları için 7 günlük kür süresinde %2,27 - %32,13 aralığında, 28 günde %2,10 - %16,28 aralığında ve 90 günde %2,5 - %17,26 olmuştur.



Şekil 4.8. FK katkılı örneklerin basınç dayanımı değişimleri

Üretilen örneklerin dayanım değerlerine göre yapılan analiz sonuçlarına göre FK'nın oluşturulan örneklerin kür süresine ve katkı yüzdelerine göre anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı etkileşimi açısından değerlendirildiğinde de anlamlı seviyede bir etki belirlenmiştir. Tüm değerler için yapılan varyans analizi ve Duncan gruplandırma sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerinin tümü farklı gruplarda sınıflandırılmışlardır. Katkı yüzdeleri analizi sonuçlarına göre tüm oranlar farklı gruplardadırlar.

Çizelge 4.6. FK katkılı örneklerin basınç dayanımlarının varyans analizi

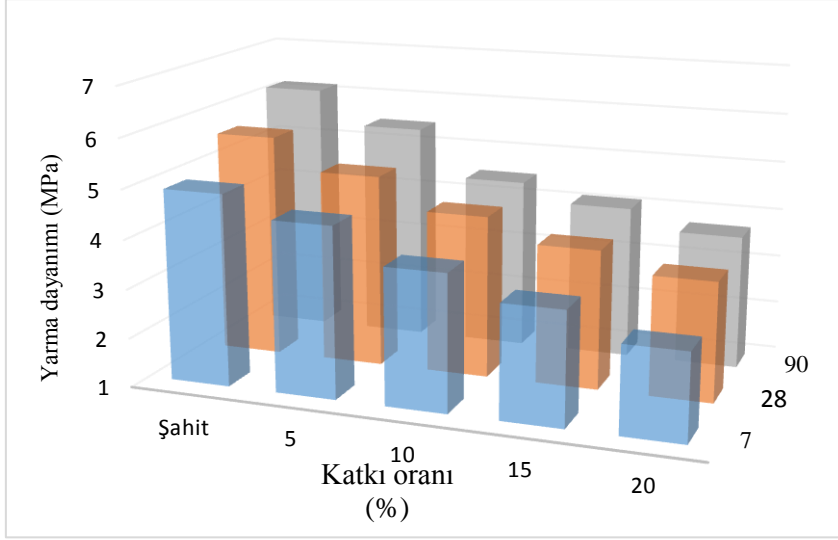
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür* katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Basınç dayanımı (MPa)	7	29,47	28,80	27,37	21,13	20,00	25,35 a	0,000	0,007	0,002
	28	31,33	30,67	28,80	26,90	26,23	28,79 b			
	90	33,20	32,37	30,03	29,07	27,47	30,43 c			
	Ortalama	31,33 a	30,61 b	28,73 c	25,70 d	24,57 e	28,19			

LSD (*p<0,05)

Erdoğdu ve ark (2001) tarafından yapılan araştırmaya göre puzolan malzemeler klinkerin hidratasyona uğraması sonucunda Ca(OH)₂ ile tepkime oluşturur. Zaman geçtikçe oluşan tepkime içerisinde Ca(OH)₂ birikmesi ile puzolanların dayanım üzerinde olumlu etkileri oluşmaktadır. Bu bakımdan puzolan malzemeler erken dayanıma düşürücü etki yapmakla birlikte ilerleyen kr süresince dayanıma olumlu etki yapmaktadır. Araştırma kapsamında üretilen örneklerde puzolan malzeme olarak FK'nın kullanılması, Erdoğdu ve ark (2001) tarafından yapılan araştırmadaki gibi erken dönemde dayanımı düşürmüş, 7, 28 ve 90 günlük dayanımlar boyunca artış yönünde hareket etmiştir. FK katkılı örneklerin istatistiki analiz sonucundan elde edilen 28 günlük mukavemet değerleri 25,43 MPa olup, 7 günlük mukavemet değerlerine göre % 13,57 artış göstermiştir. Aynı Şekilde 90 günlük mukavemet değerleri 30,43 MPa olup, 28 günlük örneklerle göre % 5,69 artış belirlenmiş ve 7 günlük örneklerde % 20,03 MPa artış göstermiştir. Tespit edilen deney sonuçlarına göre FK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması sonucunda mukavemet değerlerinin artan kr süresine göre daha dayanıklı hale gelmesini sağlamıştır.

4.1.2.7. Yarma Dayanımı Deneyi

Şekil 4.9.'da verilen yarma dayanımı sonuçlarına göre örneklerin katkı yüzdeleri açısından bakıldığında 7 günde Şahit örneğe göre %8,77 - %43,46 aralığında azalmıştır. 28 günde Şahit örneğe göre %11,49 - %38,42 aralığında, 90 günde ise Şahit örneğe göre %11,34- %39,54 aralığında azalma meydana gelmiştir. Kr süreleri deney sonuçlarına göre en düşük değer 7 günlük kür süresinde elde edilen 3,84 MPa olup, en yüksek değer 90 günlük kür süresi sonunda elde edilen 4,80 MPa değeridir. 28 günlük kür süresinde elde edilen basınç dayanımı 4,41 MPa'dır.



Şekil 4.9. FK katkılı örneklerin yarma dayanımı değişimleri

Yarma dayanımı deney sonuçlarının istatistiki analizlerine göre kür ve katkı yüzdelerinin anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı yüzdeleri etkileşimi açısından anlamlı bir etki belirlememiştir. Kür sürelerinin tümü farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Katkı yüzdelerinde de yine tüm örneklerin farklı gruplarda sınıflandıkları belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi ve Duncan gruplandırmaları Çizelge 4.7. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. FK katkılı örneklerin yarma dayanımlarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Basınç dayanımı (MPa)	7	4,90	4,47	3,77	3,30	2,77	3,84 a	0,000	0,003	0,920
	28	5,57	4,93	4,30	3,83	3,43	4,41 b			
	90	6,17	5,47	4,50	4,13	3,73	4,80 c			
	Ortalama	5,54 a	4,96 b	4,19 c	3,76 d	3,31 e	4,35			

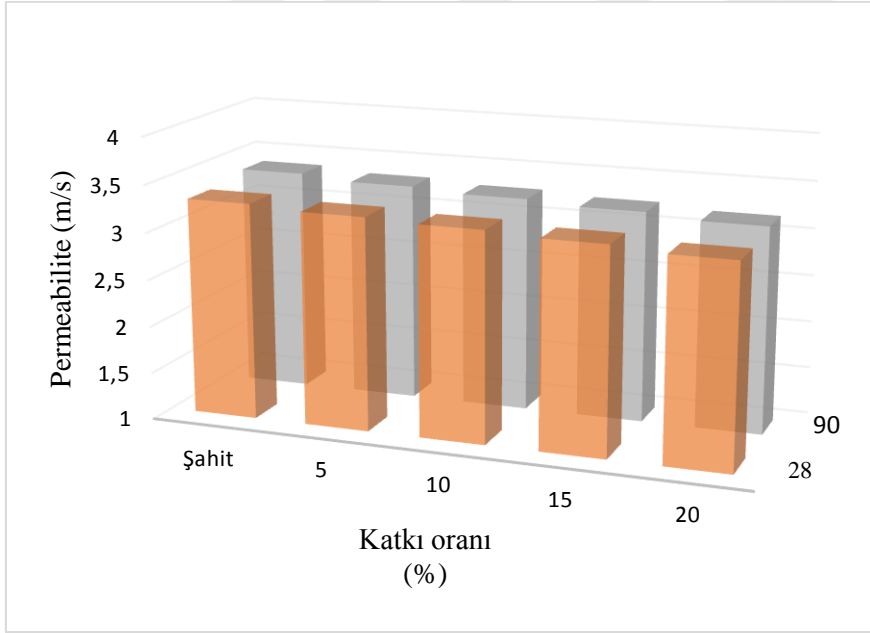
LSD (*p<0,05)

Yarmada çekme dayanımı değerleri ile ilgili Erdoğan ve ark (2001) tarafından yapılan araştırmada yarmada çekme dayanımlarının puzolan malzeme kullanılan betonların artan kür süresinde daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Erdoğan (1997) tarafından yapılan başka bir çalışmaya göre kül katkısının artması ile yarmada çekme dayanımında azalma görülürken, artan kür süresine göre dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. Puzolan malzeme olarak kül katkılı betonların dayanımlarını kür süresi doğrudan etkilemektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan örneklerin yarmada çekme dayanım değerleri de aynı şekilde kür süresine göre artış eğilimi göstermiştir. Kür sürelerine yapılan istatistiki analiz çalışmasına

göre 28 günlük yarma dayanımı 4,41 MPa olup, 7 günlük yarmada çekme dayanımı değeri olan 3,84 MPa' ya göre % 14,84 fazla dayanıma ulaşılmıştır. Aynı şekilde 90 günlük yarmada çekme dayanımında elde edilen istatistiki değer 4,8 MPa olup, 28 günlük 4,41 MPa değerine göre % 8,84 artış yaşanmış olup, 7 günlük yarmada çekme dayanım değeri olan 3,84 MPa'ya göre ise % 25 artış yaşanmıştır. Bu sonuçlara göre FK puzolan malzeme olarak kullanıldığında yarmada çekme dayanımlarının artan kür süresine göre daha iyi konuma getirmiştir.

4.1.2.8. Permeabilite (Geçirimsizlik) Deneyi

Üretilen örneklerin permeabilite deneyi sonuçları Şekil 4.10.'da sunulmuştur. Suya doymun koşullarda basınç dayanımını özelliklerini belirlemek için yapılan permeabilite deney sonuçlarına göre 28 günde şahit örneğe göre %1,21 - %4,85 aralığında azalma belirlenmiş olup. 90 günde ise %1,48 - %5,34 aralığında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. FK katkılı örneklerin permeabilite değişimleri

Permeabilite deney sonuçlarının istatistiki açıdan değerlendirilmesi amacıyla varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır. İstatistiki analiz sonuçları Çizelge 4.8.'de sunulmuştur. Duncan testi sonuçlarına göre tüm kür süreleri farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Şahit örnek ve %5 FK katkılı örnek aynı sınıfta olup, diğer katkı oranları farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Kür süresi ve katkı yüzdelерinin anlamlı bir etkisi belirlenmiş olup, kür*katkı etkileşimi açısından ise anlamlı bir etki bulunmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.8. FK katkılı örneklerin permeabilite değerlerinin varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Permeabilite katsayısı (m/s)	28	3,30	3,26	3,23	3,19	3,14	3,22 a	0,001	0,000	0,980
	90	3,37	3,32	3,28	3,24	3,19	3,28 b			
	Ortalama	3,33 a	3,29 a	3,26 b	3,22 c	3,16 d	3,25			

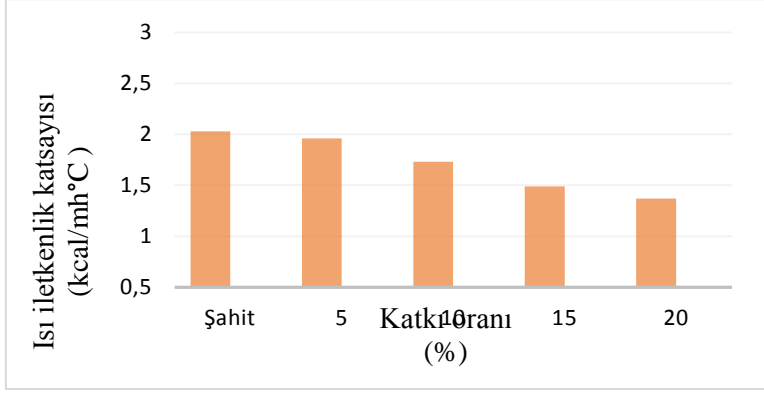
LSD (*p<0,05)

Çokça (1997) puzolan malzeme olarak kül katkısının kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada farklı katkı oranlarına göre permeabilite katsayısındaki değişimleri incelemiştir. Artan kül katkısı permeabilite katsayısını düşürücü etki göstermiş ve üretilen örneklerin suya doygun koşullarda kullanılmasını sağlamıştır. Çokça (1997) tarafından yapılan bu çalışmadaki gibi fındık kabuğu külü katkısı oranları arttıkça oluşturulan örneklerin permeabilite katsayılarında düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu bakımdan FK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması permeabilite katsayısı açısından olumlu etki sağlamıştır.

4.1.2.9. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Yalıtım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ve Şekil 4.11.'de verilen ısı iletkenlik katsayısı deneyine göre ısı iletkenlik katsayısı katkı yüzdelerinin artması ile azalmıştır. 28 günlük örneklerde şahit örneğe göre %3,45 ile %32,51 aralığında azalma meydana gelmiştir. Bu durum kül katkısı ile yalıtım özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

Kür süreleri açısından ısı iletkenlik katsayısının 1,37 kcal/mh°C – 2,03 kcal/mh°C aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Yalıtım açısından en iyi örnek 28 günlük %20 (FK) katkılı örnektir.



Şekil 4.11. FK katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değişimleri

Örnekler üzerinde yapılan ısı iletkenlik katsayısı deneylerinin istatistiki açıdan yorumlanması amacıyla varyans analizi ve Duncan yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre oluşturulan gruptandırmaya göre tüm kür süreleri ve katkı yüzdeleri kendi aralarında farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Kür süresi ve katkı yüzdelerinin ayrı ayrı anlamlı etkisi belirlenmiş olup, kür*katkı etkileşimi açısından anlamlı bir etki bulunmamaktadır. İstatistiki analizler Çizelge 4.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. FK katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Isı iletkenlik katsayısı (kcal/mh°C)	28	2,03	1,96	1,73	1,49	1,37	1,72 a	0,000	0,000	0,254
	90	2,03 a	1,96 b	1,73 c	1,49 d	1,37 e	1,72			

LSD (*p<0,05)

Isı iletkenlik katsayısı FK oranı arttıkça düşüş göstermiştir. Isı iletkenlik katsayısının düşmesi olumlu bir durumdur. Çünkü ısı iletkenlik katsayısı düştükçe yalıtım özellikleri iyileşmektedir. Araştırma kapsamında FK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması ile yalıtım açısından şahit örneğe göre daha iyi örnekler elde edilmiştir. Özellikle %20 FK katkısı yalıtım özellikleri açısından en iyi örnek olarak ön plana çıkmaktadır.

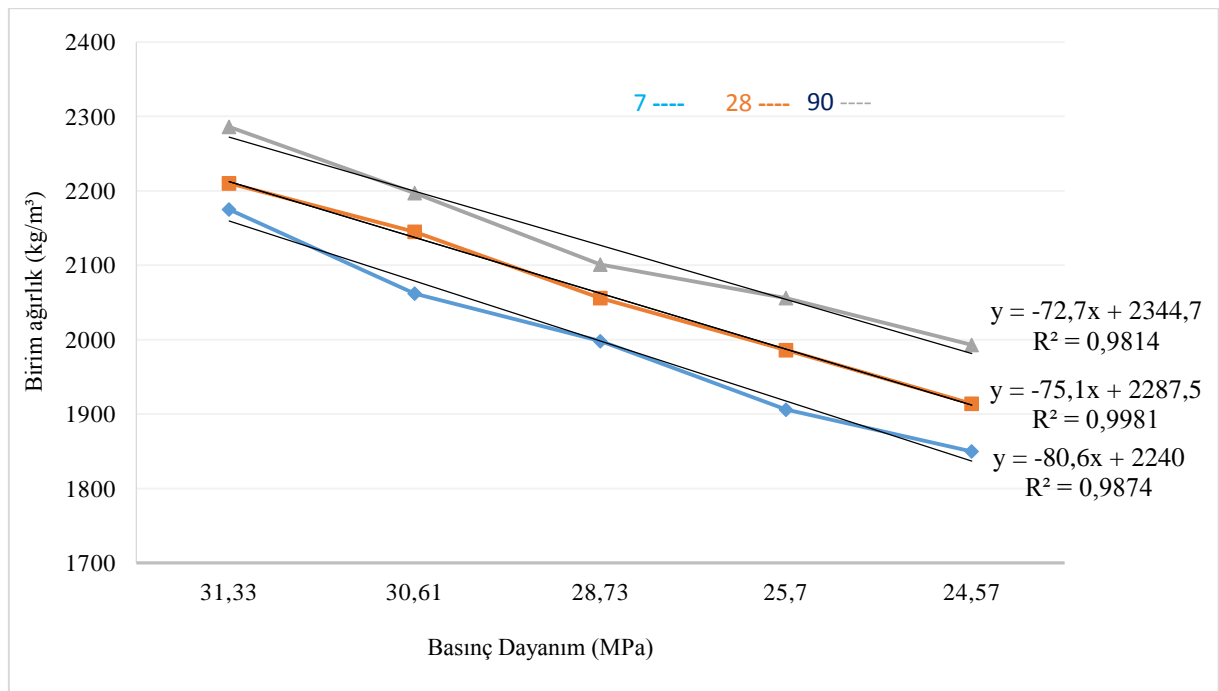
4.1.3. FK Katkılı Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması

Araştırma kapsamında FK kullanarak üretilen sertleşmiş beton özelliklerinin karşılaştırılarak ikili ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla basınç dayanımı-birim ağırlık, basınç dayanımı-dinamik elastisite modülü, basınç dayanımı-ses geçiş hızı, birim ağırlık-

permeabilite, birim ağırlık-ısı iletkenlik katsayısı, permeabilite-su emme incelenmiş ve regresyon analizi yapılmıştır.

Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama düzeyini (R^2) elde etme amacıyla denklemler geliştirilmiştir. Korelasyon katsayısının (R^2 değerinin) 1'e yakın olmasına göre karşılaştırılan değişkenlerin arasındaki ilişki belirlenmiştir. R^2 değeri ile birlikte deney sonuçlarına göre regresyon eğrisi çizilmiştir.

Örneklere birim ağırlık ile basınç dayanımları arasındaki ilişki Şekil 4.12.'de verilmiştir.

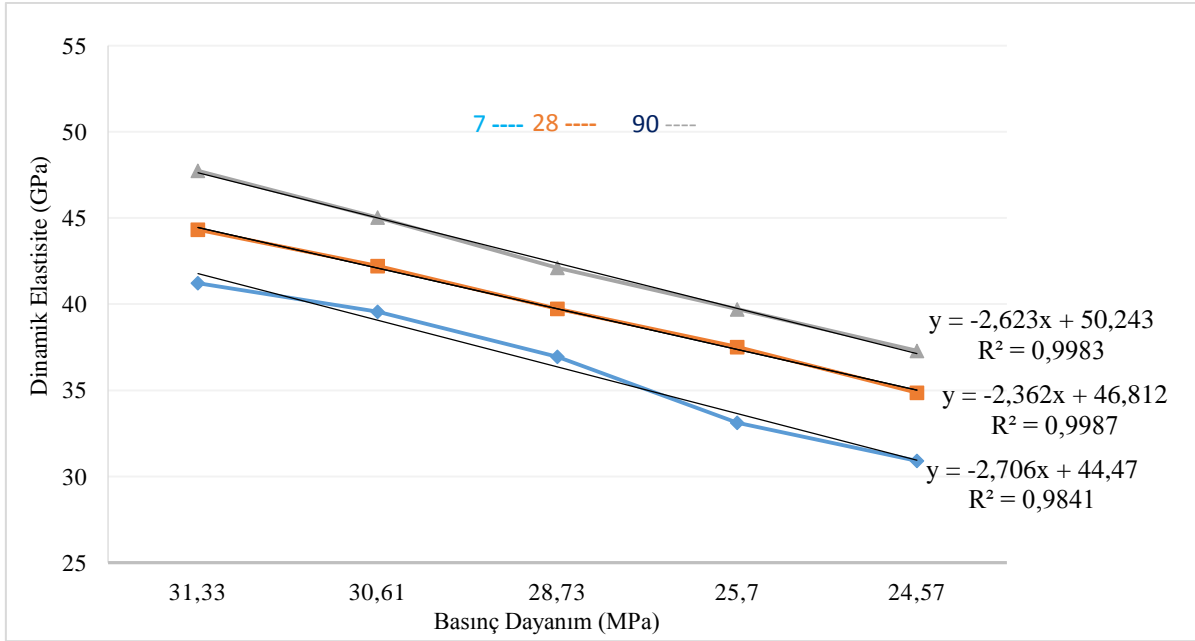


Şekil 4.12. FK katkılı betonların birim ağırlık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

Şekil 4.12. incelendiğinde birim ağırlık ile basınç dayanımları arasındaki korelasyon katsayısının 7 günde 0,98, 28 günde 0,99 ve 90 günde 0,98 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ile tüm kür sürelerinin birbirine çok yakın değerler aldığı ve birim ağırlık ile basınç dayanımı arasında lineer bir ilişki olduğu söylenebilir. Özellikle 28 günlük örneklerde lineere en yakın ilişki gözlemlenmiştir.

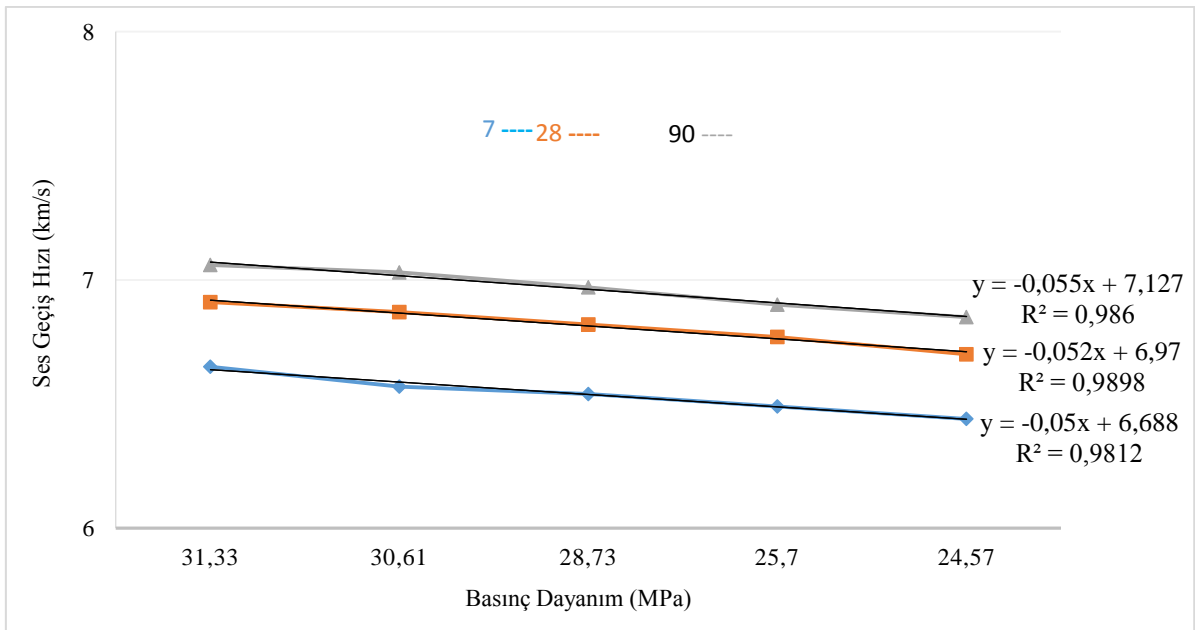
Basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 4.13.'te verilmiştir. Basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü arasında lineer bir ilişki olduğu, diğer bir ifade ile basınç dayanımındaki değişime paralel olarak dinamik elastisite modülünde değişeceği Şekil 4.13.'te görülmektedir. Bu iki değişken için yapılan regresyon

analizi sonuçlarına göre 7, 28 ve 90 günlük örneklerdeki korelasyon katsayıları sırasıyla 0,98, 0,99 ve 0,99 olarak belirlenmiştir.



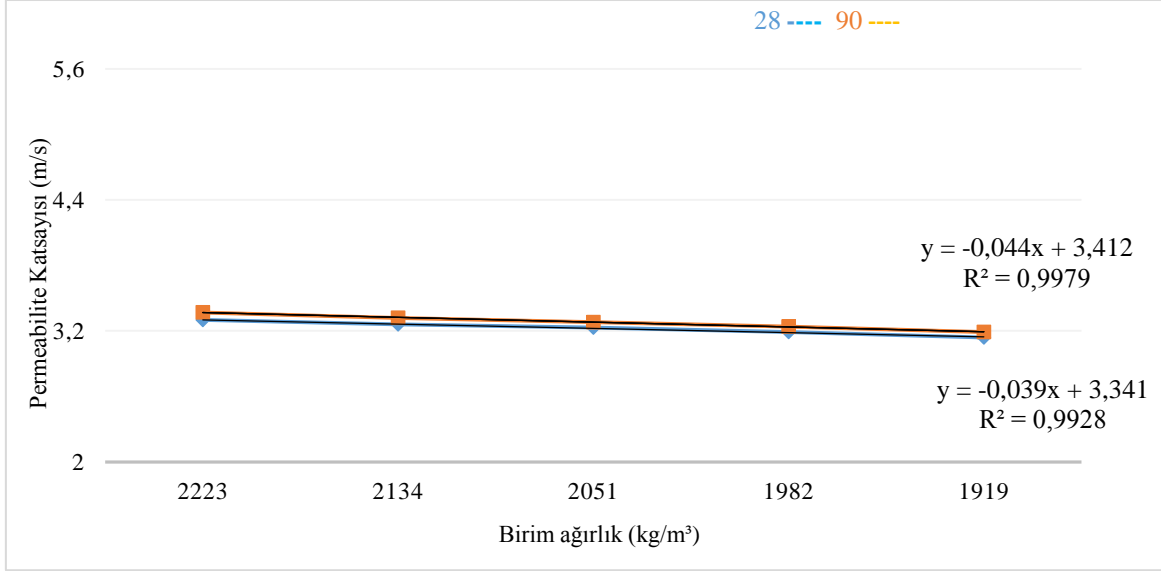
Şekil 4.13. FK katkıli betonların basınç dayanımı ve dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

Üretilen örneklerin basınç dayanımı ve ses geçiş hızı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4.14), bu iki parametre arasında lineer bir ilişki olduğu görülebilir. Basınç dayanımlarına artışına paralel olarak ses geçiş hızları da artmaktadır. İki değişken üzerinde yapılan regresyon analizi sonucunda belirlenen korelasyon katsayıları 7, 28 ve 90 günlük örnekler için 0,98-0,99 arasında değişmiştir.



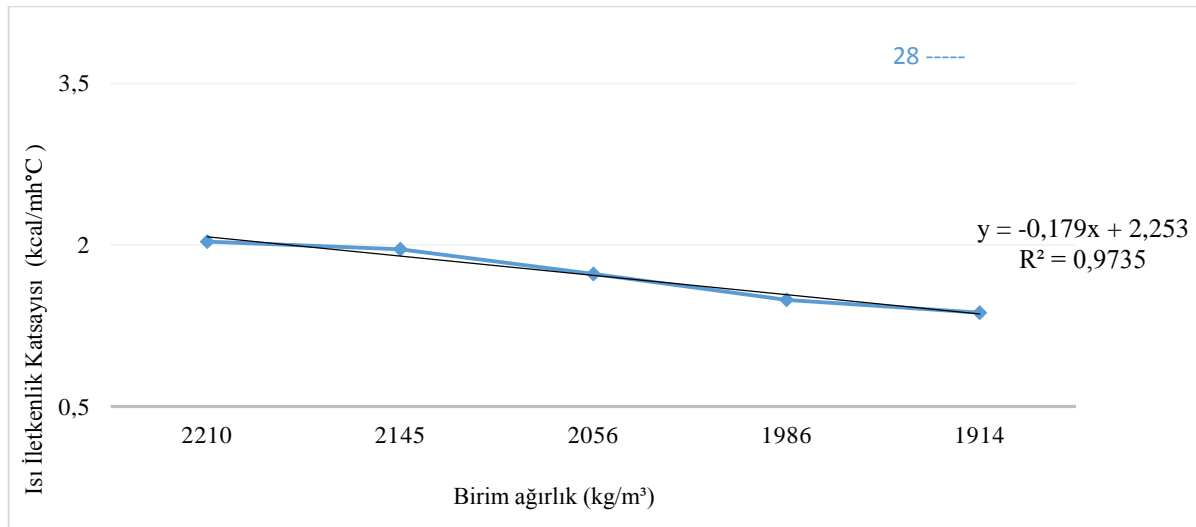
Şekil 4.14. FK katkıli betonların basınç dayanımı ve ses geçiş hızı arasındaki ilişki

Şekil 4.15.'te verilen be birim ağırlık ile permeabilite değerlerinin istatistiki ilişkisini gösteren analiz sonuçlarına göre 28 ve 90 günlük kür sürelerinin her ikisinin de korelasyon katsayıları 0,99 bulunmuştur. Lineerliğin her iki kür süresinde de sağlandığından ve birim ağırlık ile permeabilite değerleri arasında paralel değişimlerin olacağından bahsedilebilir.



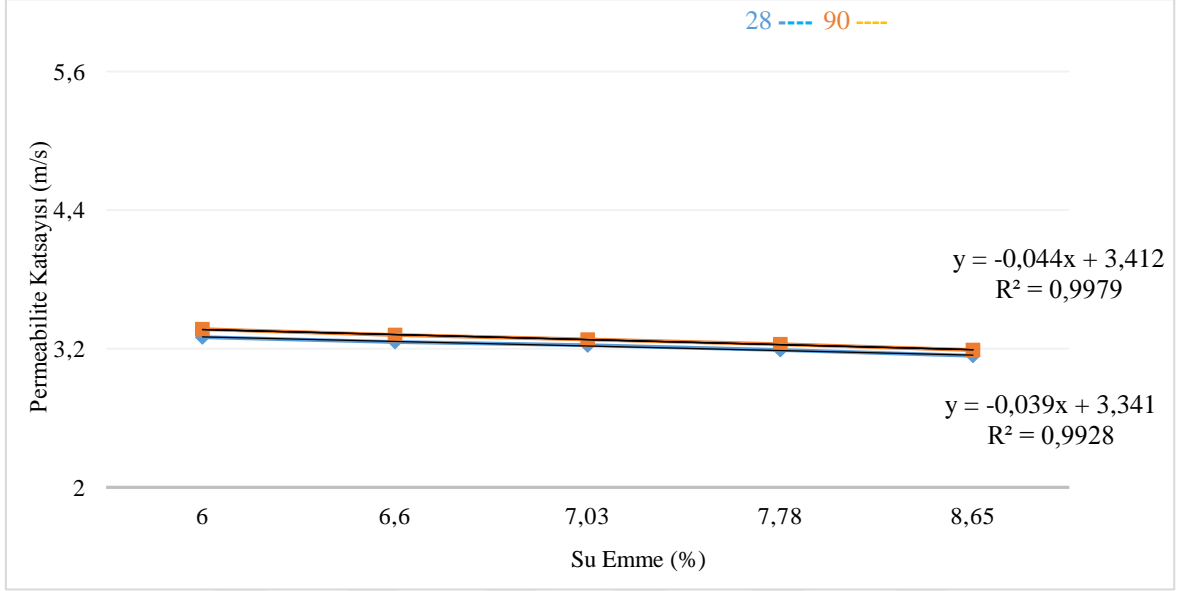
Şekil 4.15. FK katkılı betonların birim ağırlık ve permeabilite değerleri arasındaki ilişki

Şekil 4.16.'da verilen birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki analiz sonuçlarına göre 28 günlük kür süresinde lineerlik sağlanmış olup, korelasyon katsayısı 0,97 bulunmuştur. Bu bakımdan birim ağırlıktaki azalmalar ile ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde de bir azalma görüleceğinden bahsedilebilir.



Şekil 4.16. FK katkılı betonların birim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki

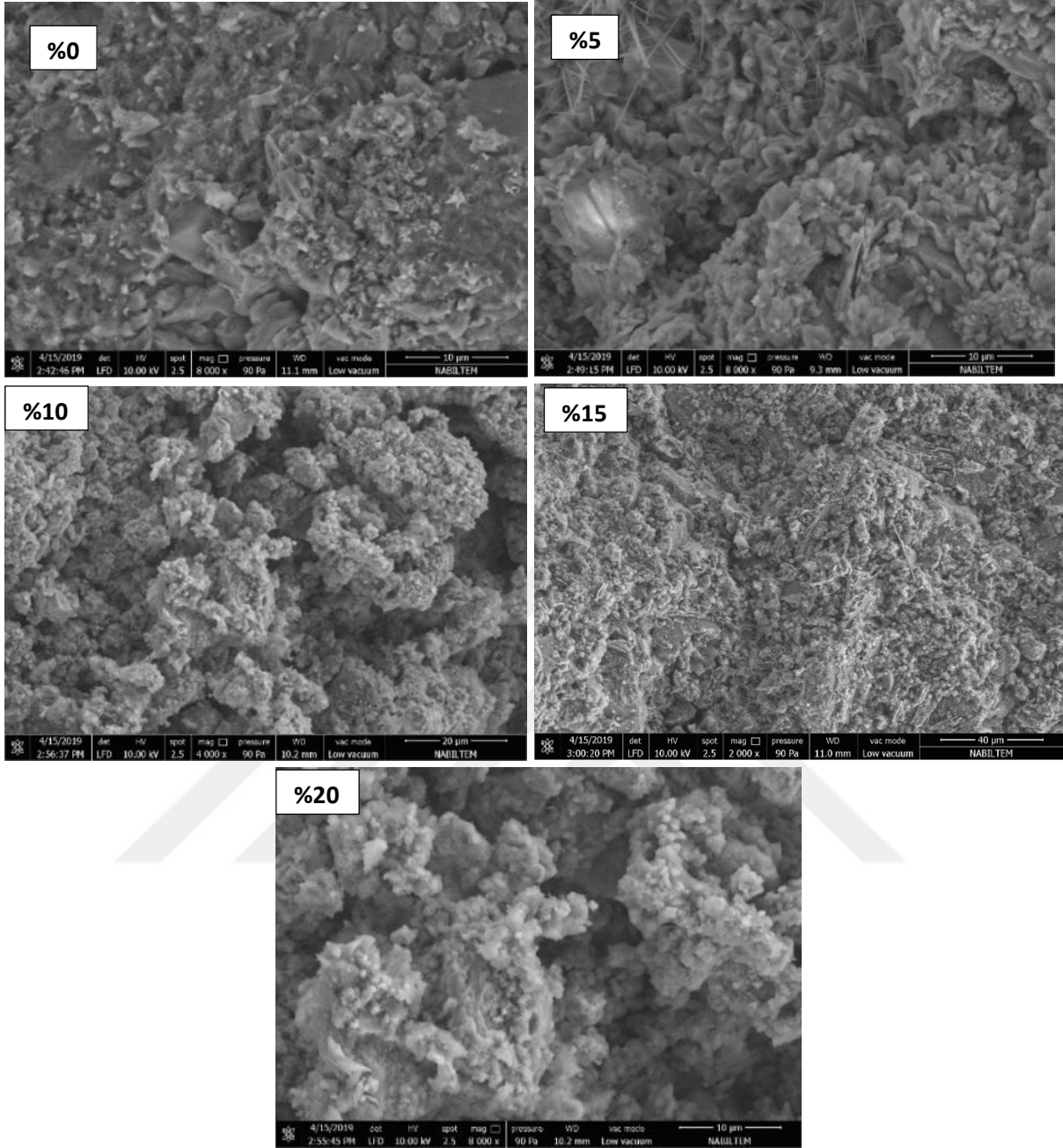
Örnekler üzerinde 28 ve 90 günlük permeabilite değerleri ile su emme değerleri arasındaki regresyon denklemleri kurulmuş olup, her iki kür süresi için ayrı ayrı korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Şekil 4.17.'de verilen istatistiki analiz sonuçlarına göre her iki kür süresi de 0,99 regresyon katsayısı değerine sahiptir. Bu bakımdan permeabilitedeki değişimleri su emme değerlerindeki değişimlerle paralel olacağından bahsedilebilir.



Şekil 4.17. FK katkıli betonların permeabilite katsayısı ve su emme oranı arasındaki ilişki

4.1.4. FK Katkıli Sertleşmiş Betonların Mikro Yapısı

Bu çalışmada üretilen beton örneklerinin mikro yapılarının incelenmesi amacıyla çekilen SEM görüntüleri tüm kül katkıları için Şekil 4.18.'de verilmiştir. SEM görüntülerine göre C-H fazları yerini kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine bıraktığı saptanmıştır. Agrega ile hidrate olmuş çimento hamuru arasında oldukça yoğun bir bağ oluştuğu belirlenmiştir. Beton içerisinde FK miktarının artması özellikle çimentonun karma oksitlerinin hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan Ca(OH)_2 'in, külün bünyesindeki aktif silis ile reaksiyona girerek (C-S-H) jeline dönüşümünü sağlamıştır. Bu bakımdan üretilen örneklerin mikro yapılarından FK katkısının bağlayıcı özellik göstereceği ve betonun hidratasyon ısısının düşeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.18. FK katkılı beton örneklerinin mikro yapıları

4.2. FBK Katkılı Beton

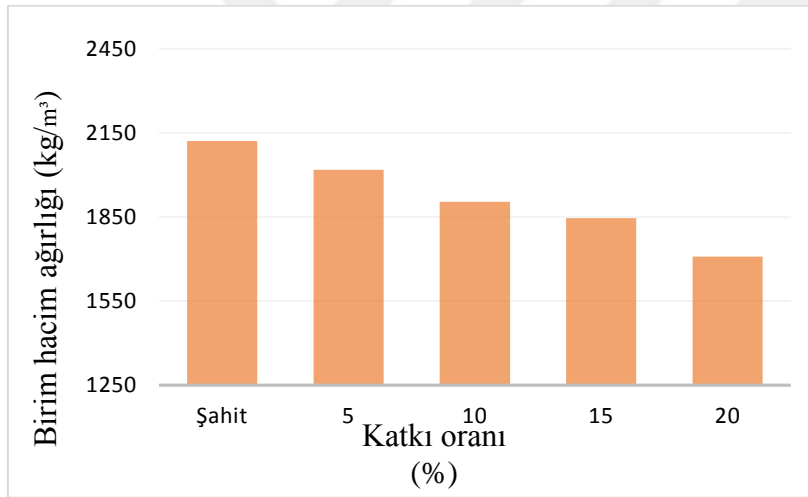
Araştırmada puzolan malzeme olarak çimento yerine kullanılması amaçlanan bir diğer biyolojik malzeme olan fındık kabuğundan üretilen briketin külleri kullanılarak oluşturulan örnekler üzerinde taze beton özellikleri olarak birim ağırlık ve hava içeriği deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton özellikleri olarak birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme oranı, dinamik elastisite modülü, donma-çözülme deneyi, permeabilite, ses geçiş hızı ve ısı iletkenlik katsayısı üzerine etkileri belirlenmiştir. Beton örneklerinin

mikro yapılarının incelenmesi amacıyla her katkı oranı için SEM görüntüleri çekilmiş ve mikro yapıları incelenmiştir.

4.2.1. Taze Beton Özellikleri

4.2.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

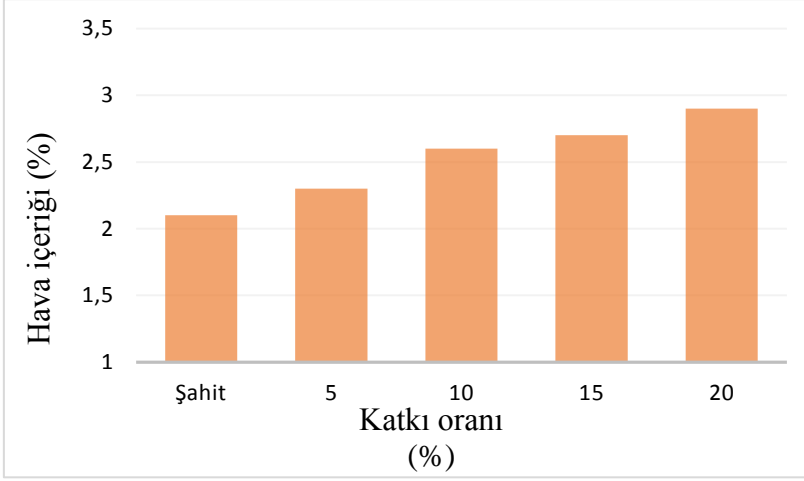
FBK katkılı taze beton örneklerinin birim ağırlık değerleri Şekil 4.19.'da verilmiştir. En yüksek birim hacim ağırlığı 2.121 kg/m³ ile %0 konusunda belirlenmiştir. Katkılı örneklerde 2.019 kg/m³ ile %5 oranında en yüksek birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır. %5 katkı oranında şahit örneğe göre %3,16 düşüş meydana gelmiştir. FK katkısına göre yaklaşık %2 daha hafif sonuç elde edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde tüm kül yüzdelerinde FK'ya göre daha fazla olmak üzere katkı oranının artışı ile birim ağırlıkların azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.19. FBK katkılı taze beton örneklerinin birim ağırlık değişimi

4.2.1.2. Hava İçeriği Deneyi

Hava içeriği sonuçları Şekil 4.20.'de sunulmuştur. Şahit örnekte %2,1 olan hava içeriğine en yakın değer %5 briket külü katkılı örnekte elde edilmiştir. %5 katkıda %2,3 olan hava içeriği %20 katkıda %2,9'a yükselmiştir. %20 katkıda hava içeriği şahit örneğe göre %38 artmıştır. FK'da %23 olan bu yükseliş, FBK katkılı taze örneklerin hava içeriğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.



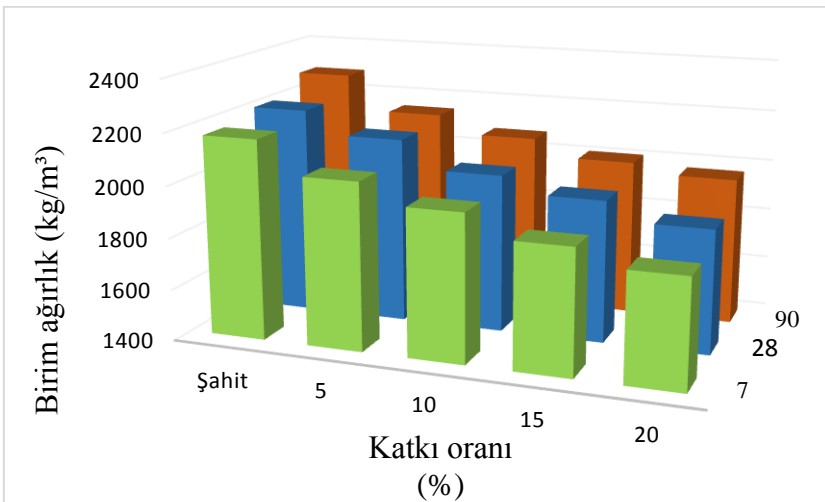
Şekil 4.20. FBK katkılı taze beton örneklerinin hava içeriği değişimi

4.2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

4.2.2.1. Birim Ağırlık Deneyi

Beton örneklerinin birim ağırlık deney sonuçları Şekil 4.21.'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, karışıma giren kül miktarı arttıkça birim ağırlıkların azaldığı gözlemlenmiştir. Azalma oranları 7 günlük kür süresinde şahit örneğe göre %5,79 - %16,22, 28 günde %3,98 - %14,93 ve 90 günde ise %6,12 - %13,73 olmuştur.

Kür süreleri açısından değerlendirildiğinde (Şekil 4.21.) en yüksek birim ağırlığın 90 günlük deney sonuçlarından elde edilen 2.097 kg/m^3 olduğu saptanmıştır. 7 günlük kür süresi sonucundan elde edilen 1.980 kg/m^3 değeri ise en düşük birim hacmin görüldüğü kür süresidir. 28 günlük kür süresinde ise 2.035 kg/m^3 birim ağırlık değeri belirlenmiştir.



Şekil 4.21. FBK katkılı örneklerin birim ağırlık değişimleri

Şekil 4.22.'de sunulan deney sonuçlarına göre briket külü katkılı örnekler tüm konularda fındık kabuğu külü katkılı örneklere göre daha hafif sonuçlar vermiştir. FBK'nın FK'ya göre düşük yoğunluk değerine sahip olması sertleşmiş haldeki örneklerin de daha hafif olmasını sağlamıştır.

Yapılan istatistiki analiz sonuçlarına şahit örnek ve %5 katkılı örnek aynı sınıfta olup, diğer katkı yüzdelerinin tümü de kendi içerisinde aynı sınıfta gruplanmışlardır. Kür süresi ve katkı yüzdeleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Kür*katkı etkileşimi istatistiki olarak anlamlı derecede belirlenmemiştir. İstatistiki analiz sonuçları Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. FBK katkılı örneklerin birim ağırlıklarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Birim hacim deneyi (kg/m ³)	7	2.175	2.049	1.971	1.885	1.822	1.980 a	0,003	0,007	1.000
	28	2.210	2.122	2.014	1.952	1.880	2.035 b			
	90	2.286	2.146	2.076	2.009	1.972	2.097 c			
	Ortalama	2.223 a	2.105 a	2.020 b	1.948 b	1.891 b	2.037			

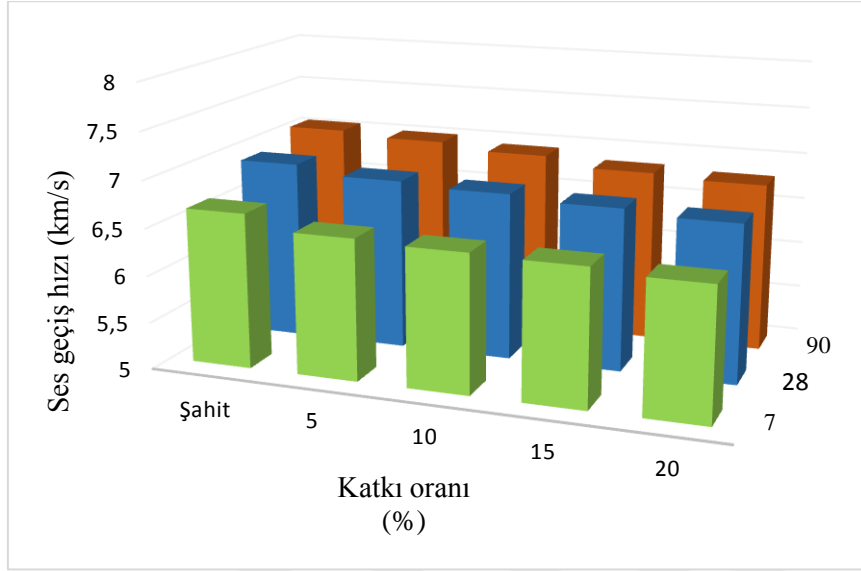
LSD (*p<0,05)

FBK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması oluşturulan tüm örneklerde birim ağırlığı azaltmıştır. FBK'nın artan yüzdelerinde birim ağırlığın düşme oranı da artmıştır. FBK yoğunluk ölçümü çimentoya göre daha düşük çıkmıştır. Bu bakımdan FBK'nın çimentoya ikame edilmesi sonucu yoğunluk farkından dolayı daha hafif örnekler elde edilmiştir. %10 FBK katkısına kadar şahit örneğe yakın değerler gözlemlenmiş olup, %20 FBK katkısında en hafif örnek elde edilmiştir. Bu durum FK'da gözlemlendiği gibi, özellikle tarımsal yapı yükünün azaltılması açısından FBK'nın da puzolan malzeme olarak kullanılmasının olumlu etki oluşturduğunu göstermektedir.

4.2.2.2.Ses Geçiş Hızı Deneyi

Araştırma kapsamında üretilen beton örneklerinin Şekil 4.22.'de verilen deney sonuçlarına göre kül katkısındaki artış ses geçiş hızına azaltmıştır. Azalma oranları %5, %10, %15 ve %20 katkı oranları için 7 günlük kür süresinde şahit örneğe göre %2,25, %2,70, %3, %3,75'dir. 28 günde %1,30, %1,69, %3,11, %3,32'dir. 90 günde ise %0,70, %1,70, %3,11, %3,68 olmuştur.

Kür süresine göre (Şekil 4.22.) en yüksek ses geçiş hızı 6,93 km/s ile 90 günlük kür süresi sonucunda bulunmuş olup, en düşük ses geçiş hızı değeri ise 6,49 km/s ile 7 günlük deney sonuçlarında tespit edilmiştir. Kür süresindeki artış ses geçiş hızına olumlu etki yapmıştır. FBK katkılı örnekler daha hafif ve boşluklu yapıda olduklarından ses geçiş değerleri FK katkılı örneklere göre daha düşüktür.



Şekil 4.22. FBK külü katkıli örneklerin ses geçiş değişimleri

İstatistiki analiz sonuçlarına göre kür süresi ve katkı yüzdelerinin tümü kendi aralarında farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Analiz sonuçlarına göre kür süresi ve katkı yüzdeleri istatistiki açıdan anlamlı bulunmuş olup, kür*katkı açısından ise anlamlı bir etki bulunmamıştır. (Çizelge 4.11.)

Çizelge 4.11. FBK katkıli örneklerin ses geçiş hızlarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Ses geçiş hızı (km/s)	7	6,65	6,50	6,47	6,45	6,40	6,49 a	0,000	0,000	0,069
	28	6,91	6,82	6,78	6,73	6,68	6,78 b			
	90	7,06	7,01	6,94	6,84	6,80	6,93 c			
	Ortalama	6,87 a	6,78 b	6,73 c	6,67 d	6,63 e	6,74			

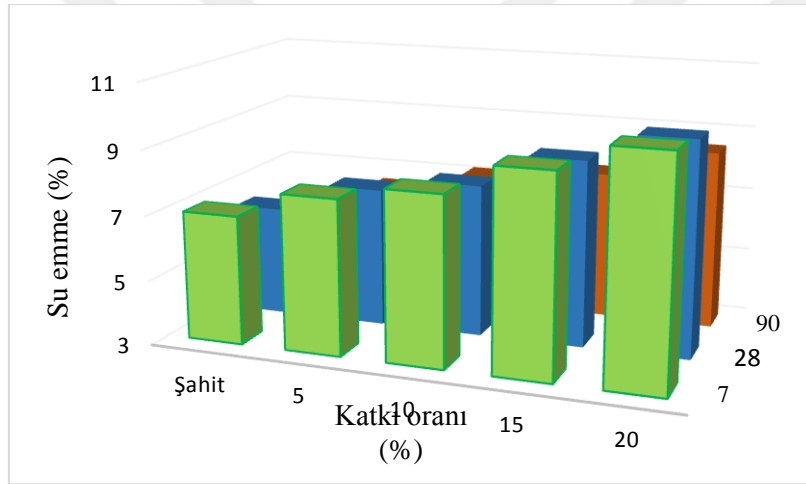
LSD (*p<0,05)

FBK katkıli örneklerin tümü her konuda ses geçiş değeri olarak 4.5 km/s değerinden yüksek ses geçiş hızına sahiptir. FK katkısı ile oluşturulan örnekler gibi FBK katkıli örnekler de Neville (1990) tarafından ses geçiş hızı ile ilgili yapılan çalışmaya göre mükemmel

kalitede olarak değerlendirilmiştir. FBK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması ses geçiş hızı değerleri açısından çok olumlu sonuçlar vermiştir. Bu bakımdan ses yalıtımı ile ilgili oluşturulacak malzemelerde FBK'nın kullanılabileceği sonucuna ulaşılabilir.

4.2.2.3.Su Emme Deneyi

Şekil 4.23.'de sunulan su emme deney sonuçlarına göre katkı yüzdeleri açısından 7 günlük kür süresinde şahit örneğe göre %11,6 - %42,26 arası, 28 günde %14 - %50 arası artış yaşanmış olup, 90 günde ise %17,32 - %52,32 aralığında artmıştır. FBK katkılı örnekler tüm kür süreleri ve katkı yüzdelerine göre FK katkılı örneklere göre daha fazla su emmeye sahiptir. FBK'nın daha hafif olması bu sonucu oluşturmuştur.



Şekil 4.23. FBK katkılı örneklerin su emme değişimleri

Kür süreleri açısından briket külü katkılı örnekler üzerinde uygulanan analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.12.) en düşük değer 90 günlük kür süresinde elde edilen %7,10 olup, en yüksek değer 7 günlük kür süresi sonunda elde edilen % 8,41'dir.

Elde edilen deney sonuçlarının istatistiki analizlerinin yapılması amacıyla Çizelge 4.12' de sunulan kür süresi, katkı yüzdeleri ve kür*katkı interaksiyonun belirlenmiştir. Kür süresi ve katkı yüzdelerinin ayrı ayrı istatistiki olarak anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı etkileşimi açısından ise anlamlı bir etki bulunmamaktadır. İstatistiki analiz sonuçlarına göre tüm kür süreleri farklı gruplarda sınıflanmışlardır. Aynı şekilde katkı yüzdeleri açısından değerlendirildiğinde de tüm katkı yüzdelerinin farklı sınıflarda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. FBK katkılı örneklerin su emme oranlarının varyans analizi

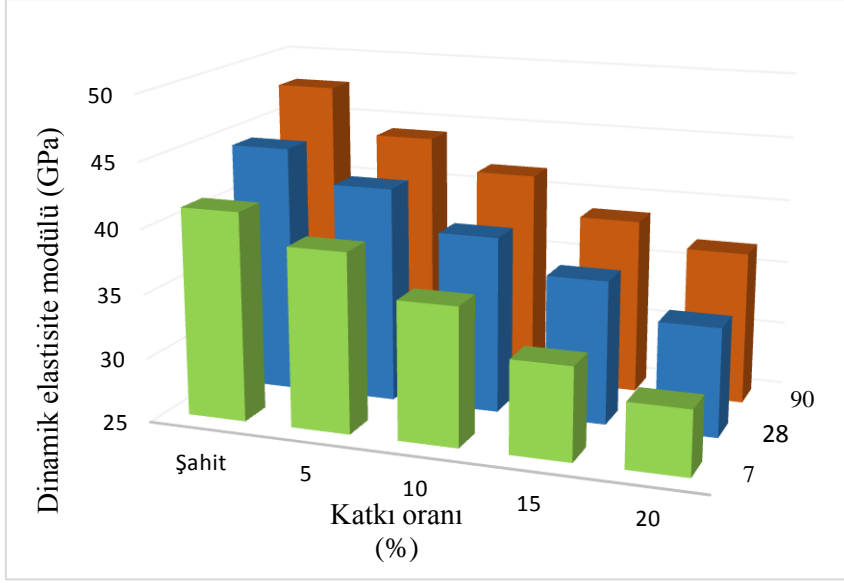
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür* katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Su emme (%)	7	6,98	7,79	8,21	9,14	9,93	8,41 a	0,000	0,009	0,000
	28	6,40	7,30	7,70	8,73	9,60	7,95 b			
	90	5,60	6,57	7,20	7,60	8,53	7,10 c			
	Ortalama	6,33 a	7,22 b	7,70 c	8,49 d	9,35 e	7,82			

LSD (*p<0,05)

Puzolan malzeme olarak kül katkısının kullanılmasının su emme değerlerine olan etkisinin araştırıldığı Ünal ve Uygunoğlu (2004) tarafından yapılan bir çalışmada kül katkıların erken kür sürelerinde su emme hızını yoğun şekilde arttırmasına rağmen kür süresi arttıkça su emme hızını olumlu etkileyip düşmesini sağladığı sonucuna varmışlardır. FBK'nın da aynı şekilde artan kür süresinde su emme hızını tüm katkı oranlarında olumlu etkileyip düşmesini sağladığı belirlenmiştir. Su emme hızına olumlu etkileri istatistiki açıdan analiz edildiğinde 90 günlük kür süresinde 28 günlük kür süresine göre ve 28 günlük kür süresinde 7 günlük kür süresine göre tüm katkı yüzdeleri için düşüş göstermiştir. FBK artan kür süresinde su emme hızına olumlu etki yapıp, azalmasını sağlamıştır.

4.2.2.4. Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Üretilen beton örneklerinin Şekil 4.24.'te verilen dinamik elastisite modülü sonuçlarına göre kül katkısı arttıkça dinamik elastisite azalmıştır. 7 günde şahit örneğe göre %5,53 - %27,12 aralığında azalma görülmüş olup, 28 günde ise şahit örneğe göre %5,70 - %24,54 aralığında belirlenmiştir. 90 günde şahit örneğe göre %7,58 - %22,72 aralığında azalma olmuştur. Kür süreleri açısından kıyaslandığında ise (Şekil 4.24.) en yüksek dinamik elastisite modülü 41,84 GPa ile 90 günlük kür süresinde elde edilmiş olup, en düşük dinamik elastisite modülü ise 7 günlük kür süresinde elde edilen 35,63 GPa değeridir. 28 günlük değer ise 38,89 GPa olarak bulunmuştur.



Şekil 4.24. FBK katkılı örneklerin dinamik elastisite modülü değişimleri

FK katkılı örneklerdeki birim hacim ve ses geçiş hızlarındaki değerlerin FBK'ya göre daha yüksek olmasından dolayı dinamik elastisite modülü değerleri FBK katkılı örnekler için daha düşük hesaplanmıştır.

İstatistiki analiz sonuçlarına göre FBK ile oluşturulan örneklerin kür süresine ve katkı yüzdelere göre anlamlı etkisi bulunmaktadır. Kür*katkı etkileşimi açısından anlamlı bir etki bulunmamaktadır. Kür süresi açısından 28 ve 90 günlük sonuçlar aynı sınıfta olup, 7 günlük sonuçlar farklı sınıfta gruplanmışlardır. Katkı yüzdeleri açısından ise tüm katkı yüzdeleri farklı gruplardadırlar. Varyans analizi ve Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.13.'te sunulmuştur.

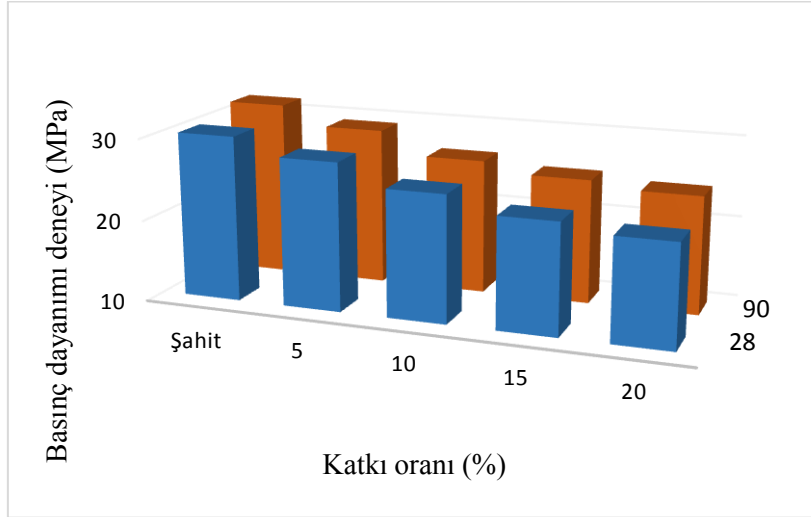
Çizelge 4.13. FBK katkılı örneklerin dinamik elastisite modülü değerlerinin varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Dinamik elastisite modülü (GPa)	7	41,22	38,94	35,72	32,21	30,04	35,63 a	0,006	0,000	0,999
	28	44,32	41,8	38,72	36,15	33,44	38,89 b			
	90	47,74	44,12	41,71	38,72	36,89	41,84 b			
	Ortalama	44,43 a	41,62 b	38,72 c	35,69 d	33,46 e	38,78			

LSD (*p<0,05)

4.2.2.5. Donma Çözünme Deneyi

Şekil 4.25.'te verilen değerlere göre donma çözünme çevrimleri sonrasında dayanım değerleri kür süresine göre artmış olup, katkı yüzdesine göre ise azalma göstermiştir. Kür süresine göre artış %5%10,%15 ve %20 katkı için sırasıyla %4, %3,8, %7,04, ve %8,43 olmuştur. Katkı yüzdesine göre azalma oranları 28 günde şahit örneğe göre %6,81 - %25,47 aralığında, 90 günde ise %7,36 - %22,76'dır.



Şekil 4.25. FBK katkılı örneklerin donma-çözünme deneyi sonucu basınç değişimleri

Varyans analizi ve sonuçların Duncan testi ile sınıflandırılma işlemleri (Çizelge 4.14.) yapılmıştır. İstatistiki analizlere göre donma çözünme deneylerinde elde edilen sonuçların kür süresine ve katkı yüzdelere göre anlamlı etkisi bulunmaktadır. İstatistiki analiz sonuçlarına göre tüm kür süreleri farklı gruplarda sınıflanmışlardır. Katkı yüzdeleri de aynı şekilde farklı sınıflarda yer almaktadırlar.

Çizelge 4.14. FBK katkılı örneklerin donma-çözünme dayanımlarının varyans analizi

Basınç dayanımı (MPa)		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Basınç dayanımı (MPa)	28	30,23	28,17	25,53	23,57	22,53	26,01 a	0,000	0,000	0,148
	90	31,63	29,30	26,50	25,23	24,43	27,42 b			
	Ortalama	30,93 a	28,73 b	26,02 c	24,40 d	23,48 e	26,71			

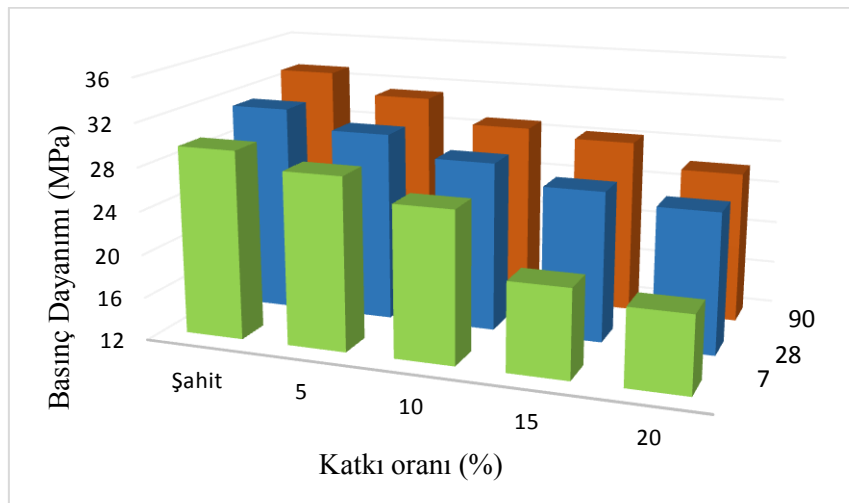
LSD (*p<0,05)

FBK katkılı örneklerde FK katkılı örneklere göre az da olsa daha düşük dayanım sağlanmıştır. Bu durum FK'nın yoğunluğunun daha yüksek olması ve boşluklu yapının nispeten daha az olmasıdır.

Şişman ve ark. (2008), Ekmekyapar ve Örüng (1993) ve Erdoğan (2004) tarafından yapılan araştırmalarda donma çözünme deneyleri sonucunda elde edilen mukavemet kayıplarının oransal değerinin %20'nin altında kalması durumunda soğuk iklim bölgelerine uygun beton elde edilebileceğini belirlemişlerdir. Bu bilgiye göre FBK ile oluşturulan örneklerin mukavemet kayıpları belirlenmiş ve oransal değerlerine göre soğuk iklim bölgelerine uygun olup olmadıkları araştırılmıştır. FBK katkılı örneklerde basınç dayanımları ile donma çözünme sonrası basınç dayanımları 28 günlük mukavemet kayıpları %5 katkıda %4,92, %10 katkıda 7,93, %15 katkıda %9,24, %20 katkıda %9,98 oranında olmuştur. 90 günlük örneklerde ise %5 katkıda %6,17, %10 katkıda %8,52, %15 katkıda %10,84 ve %20 katkıda %6,39 olarak belirlenmiştir. Yapılan tüm kür süresi ve katkı sonuçlarına göre FBK katkılı örnekler donma çözünme çevrimi sonrasındaki mukavemet kayıpları %20 altında kalmıştır. Bu bakımdan FBK'nın soğuk iklim bölgelerinde rahatlıkla puzolan malzeme olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

4.2.2.6. Basınç Dayanımı Deneyi

Üretilen beton örneklerinin Şekil 4.26.'da verilen dayanım sonuçlarına göre kül katkısı arttıkça dayanımların azaldığı belirlenmiştir. Bu azalma 7 günlük kür süresinde şahit örneğe göre %4,98 - %35,18 aralığında, 28 günde %5,42 - %20,10 aralığında, 90 günde ise %5,93 - % 21,38 aralığında olmuştur.



Şekil 4.26. FBK katkılı örneklerin basınç dayanımı değişimleri

FBK katkılı örnekler FK'ya göre daha az dayanım özelliğine sahiptir. Bunun nedeni, FBK'nın yoğunluğunun düşük olması, örneklerin daha hafif ve boşluklu yapıda olmasıdır.

Yapılan istatistiki analiz sonuçlarına göre kür süresi, katkı yüzdeleri ve kür*katkı etkileşimi açısından istatistiki olarak anlamlı bir etki olduğu belirlenmiştir. Duncan gruplandırma testine göre kür sürelerinin tümü farklı istatistiki sınıflarda gruplanmışlardır. Katkı yüzdeleri açısından değerlendirildiğinde de yine tüm katkı yüzdelерinin farklı sınıflarda olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.15.'te sunulmuştur.

Çizelge 4.15. FBK katkılı örneklerin basınç dayanımlarının varyans analizi

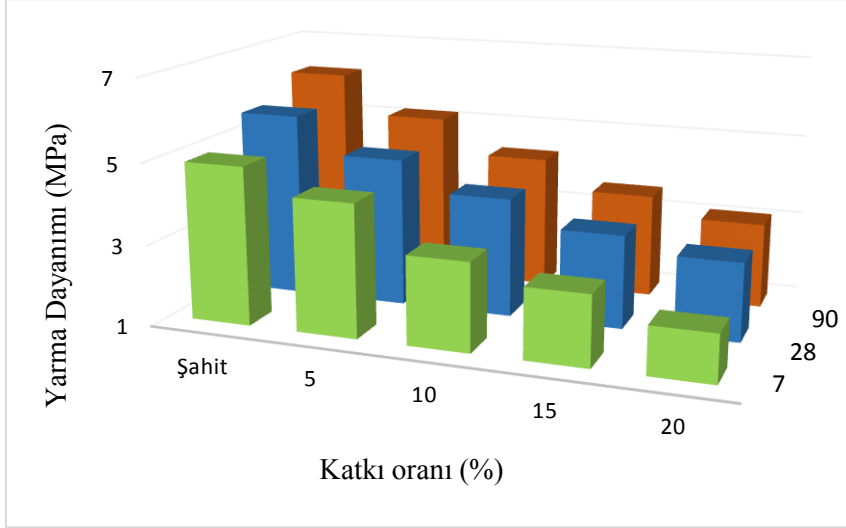
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Basınç dayanımı (MPa)	7	29,47	28,00	25,97	20,20	19,10	24,55 a	0,000	0,000	0,000
	28	31,33	29,63	27,73	25,97	25,03	27,94 b			
	90	33,20	31,23	28,97	28,30	26,10	29,56 c			
	Ortalama	31,33 a	29,62 b	27,56 c	24,82 d	23,41 e	27,35			

LSD (*p<0,05)

Puzolan malzemelerin hidratasyona uğraması ile Ca(OH)₂ arasında kimyasal tepkime oluşmakta ve bu durum zaman geçtikçe puzolanların dayanım özelliklerine olumlu etki yapmaktadır. Bu durum Erdoğdu ve ark (2001) tarafından yapılan araştırmalar kapsamında belirlenmiş olup, çalışmalarında kullandıkları kül katkılar kür süreleri arttıkça mukavemet özelliklerini olumlu etkilemiştir. FBK' da aynı şekilde artan kür süresinde dayanım özelliklerini olumlu etkilemiştir.

4.2.2.7. Yarma Dayanımı Deneyi

Şekil 4.27.'de verilen yarma dayanımı sonuçlarına göre katkı yüzdeleri açısından incelendiğinde 7 günlük örneklerde şahit örneğe göre %12,85 - %55,71, 28 günde %16,15 - %47,39, 90 günde ise %16,20 - %49,75 azalma meydana gelmiştir. Kür süresi olarak bakıldığında en yüksek yarma dayanımı şahit örnekteki 90 günlük deney sonucunda elde edilmiş olup, en düşük dayanım ise 7 günlük %20 katkılı örnekten elde edilmiştir.



Şekil 4.27. FBK katkılı örneklerin yarma dayanımı değişimleri

Çizelge 4.16.'da verilen istatistiki analiz sonuçlarına göre kür süresi ve katkı yüzdelerinde istatistiki açıdan anlamlı bir etki görülmüştür. Duncan testi sonuçlarına göre kür süreleri ve katkı yüzdelerinin tümü farklı istatistiki gruplarda sınıflanmışlardır.

Çizelge 4.16. FBK katkılı örneklerin yarma dayanımlarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Yarma dayanımı (MPa)	7	4,90	4,27	3,17	2,73	2,17	3,45 a	0,000	0,000	0,784
	28	5,57	4,67	3,93	3,30	2,93	4,08 b			
	90	6,17	5,17	4,30	3,57	3,10	4,46 c			
	Ortalama	5,54 a	4,70 b	3,80 c	3,20 d	2,73 e	4,00			

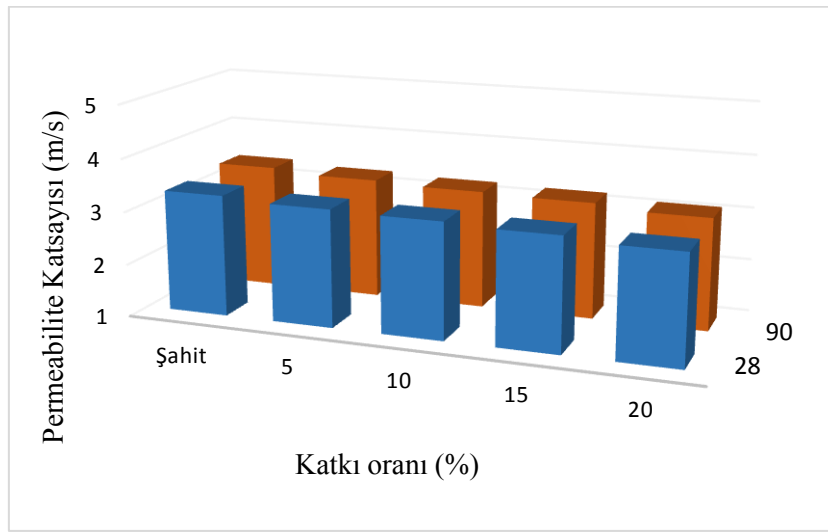
LSD (*p<0,05)

Erdoğdu ve ark (2001) ve Erdoğan, (1997) tarafından yapılan puzolan malzeme olarak kül katkısının kullanımının yarmada çekme dayanımı üzerine etkileri ile ilgili araştırmada kür süresindeki artışla kül katkıların yarmada çekme dayanım değerlerini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. FBK katkılı örneklerin yarmada çekme dayanımı sonuçları literatür kapsamında artan kür süresince değişimleri literatür ışığında sorgulanmıştır. Deney sonuçlarına göre 28 günlük yarma dayanımı 4,08 MPa olup, 7 günlük yarmada çekme dayanımı değeri olan 3,45 MPa' ya göre % 18,26 fazla dayanıma ulaşılmıştır. Aynı şekilde 90 günlük yarmada çekme dayanımında elde edilen istatistiki değer 4,46 MPa olup, 28 günlük 4,08 MPa değerine göre % 9,31 artış yaşanmış olup, 7 günlük yarmada çekme dayanım değeri olan 3,45 MPa'ya göre ise % 29,27 artış yaşanmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar,

FBK'nın yarmada çekme dayanımını artan kür süresinde iyileştirme özelliği gösteren puzolan malzeme olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

4.2.2.8. Permeabilite (Geçirimsizlik) Deneyi

Araştırmada üretilen beton örneklerinin Şekil 4.28.'de verilen permeabilite sonuçlarına göre %5, %10, %15 ve %20 katkı yüzdeleri açısından bakıldığında 28 günde şahit örneğe göre sırasıyla %2,12, %3,03, %4,54, %6,96 azalma meydana gelmiştir. 90 günde ise yine sırasıyla %2,37, %3,85, %4,74 ve %7,41 azalmıştır.



Şekil 4.28. FBK katkılı örneklerin permeabilite değişimleri

Çizelge 4.17'de verilen istatistikî analiz sonuçlarına göre tüm kür süreleri ve katkı oranları kendi aralarında farklı sınıflarda gruplanmışlardır. Kür süresi ve katkı yüzdelerinin istatistikî açıdan anlamlı etkileri bulunmaktadır.

Çizelge 4.17. FBK katkılı örneklerin permeabilite değerlerinin varyans analizi

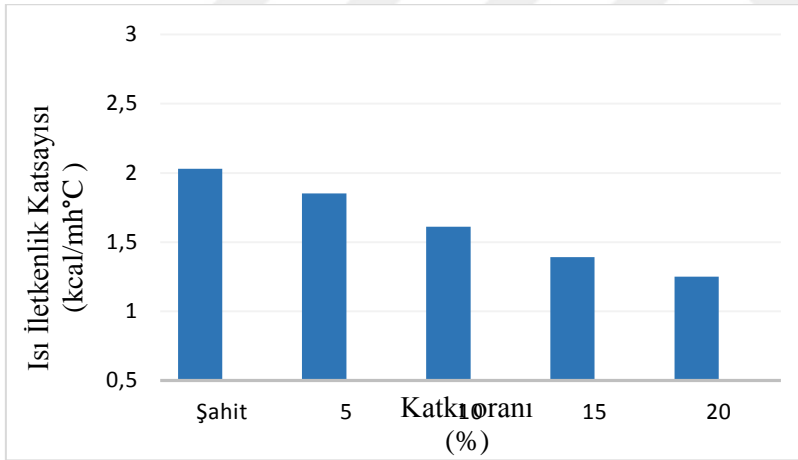
		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Permeabilite katsayısı (m/s)	28	3,30 a	3,23	3,20	3,15	3,07	3,19 a	0,002	0,000	0,959
	90	3,37 b	3,29	3,24	3,21	3,12	3,24 b			
	Ortalama	3,33 a	3,26 b	3,22 c	3,18 d	3,09 e	3,22			

LSD (*p<0,05)

Permeabilite değerlerine puzolan malzemelerin etkileri ile ilgili Çokça (1997) tarafından yapılan bir araştırmada değişen yüzdelerde kül katkıları puzolan malzeme olarak kullanılmıştır. Araştırma sonucunda kül katkısı yüzdesi arttıkça permeabilite değerlerini düşmesini sağlayıp olumlu etki göstermiştir. Aynı şekilde üretilen FBK katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça permeabilite değerlerinde olumlu sonuçları görülmektedir. Artan kül yüzdeleri permeabilitede düşüşü sağlamış olup, sulu koşullardaki zeminlerde kullanım için avantaj sağlamıştır.

4.2.2.9. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi

Şekil 4.29.'da verilen deney sonuçlarına göre kür süreleri açısından ısı iletkenlik katsayısının 1,25 kcal/mh°C – 2,03 kcal/mh°C aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Katkı yüzdesi açısından ise FBK arttıkça ısı iletkenlik katsayısında düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş beton örneklerinde olumlu etki yapmış olup, şahit örneğe göre ısı iletkenlik katsayısı %8,86 - %38,42 aralığında azalmıştır. Yalıtım açısından en iyi örnek 28 günlük %20 (FBK) katkılı örnektir.



Şekil 4.29. FBK katkılı örneklerin ısı iletkenlik değişimleri

İstatistiki analiz sonucunda kür süresi ve katkı yüzdeleri anlamlı derecede bulunmuştur. Duncan testi sonuçlarına tüm katkı yüzdelerinin farklı sınıflarda yer aldığı görülmektedir. Yapılan istatistiki analiz sonuçları Çizelge 4.18.'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. FBK katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının varyans analizi

		Katkı					Ortalama	p kür	p katkı	p kür*katkı
		0%	5%	10%	15%	20%				
		Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama				
Isı iletkenlik katsayısı (kcal/mh°C)	28	2,03	1,85	1,61	1,39	1,25	1,63 a	0,000	0,000	0,254
	90	2,03 a	1,85 b	1,61 c	1,39 d	1,25 e	1,63			

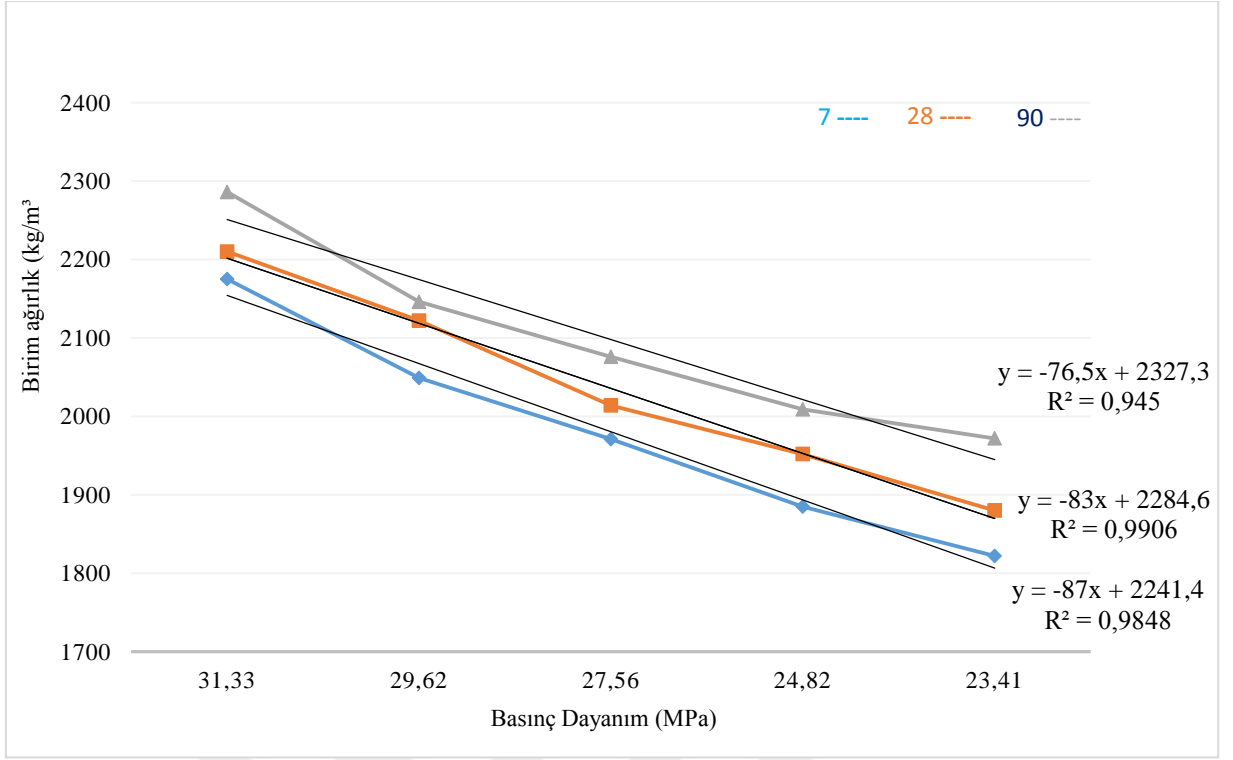
LSD (*p<0,05)

Yapılan deneylerin sonucunda FBK'nın FK'ya göre ısı yalıtımının daha iyi olduğu saptanmıştır. Genel anlamda FBK katkısı arttıkça ısı iletkenlik katsayısında düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum yalıtım özellikleri açısından olumlu bir durumdur. FBK'nın puzolan malzeme olarak kullanılması yalıtım açısından şahit örneğe göre kül katkı oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. %20 katkılı örnek diğer katkıları içerisindeki yalıtım açısından kullanılabilir en iyi örnek olarak belirlenmiştir.

4.2.3. FBK Katkılı Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Karşılaştırılması

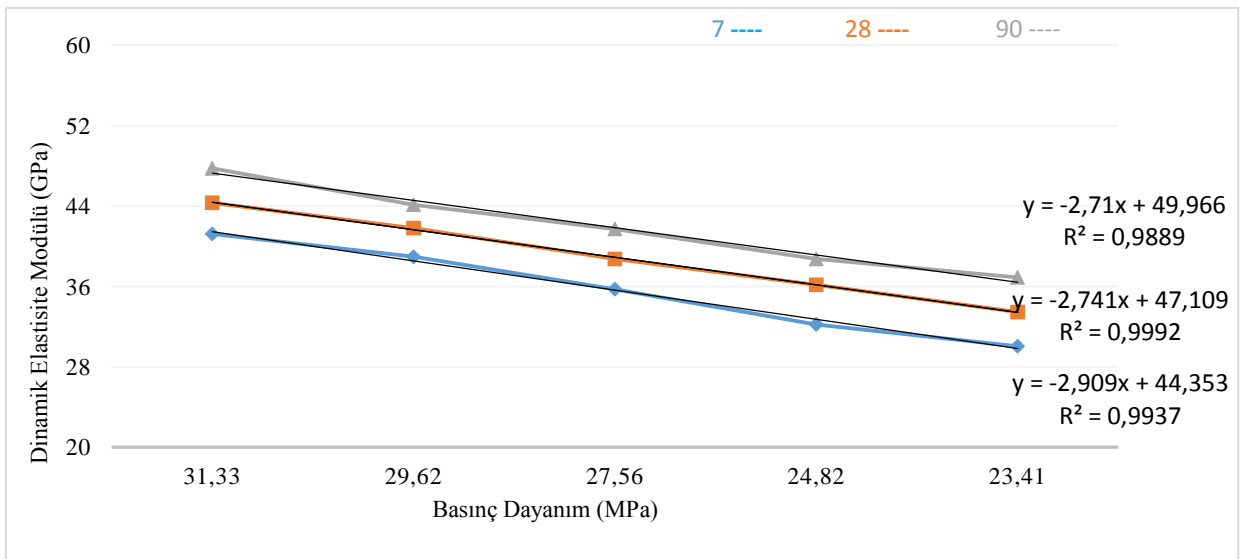
FBK kullanarak üretilen sertleşmiş beton özellikleri, FK katkılı örneklerdeki gibi ikili ilişkilerin belirlenmesi amacıyla basınç dayanımı- birim ağırlık, basınç dayanımı-dinamik elastisite modülü, basınç dayanımı-ses geçiş hızı, birim ağırlık-permeabilite, birim ağırlık -ısı iletkenlik katsayısı, permeabilite- su emme incelenmiş ve regresyon analizi yapılmıştır. Korelasyon katsayısının (R^2 değerinin) 1'e yakın olup olmaması sonucuna göre deney sonuçları arasındaki ilişki belirlenmiştir. R^2 değeri ile birlikte deney sonuçlarına göre regresyon eğrisi çizilmiştir.

Örneklere birim ağırlık ile basınç dayanımları arasındaki ilişki incelendiğinde korelasyon katsayısının 7 günde 0,98, 28 günde 0,99 ve 90 günde 0,94 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre 7 ve 28 günlük kür sürelerinin birbirine çok yakın değerler aldığı, lineerliğe en yakın kür süresinin ise 28 gün olarak ön plana çıktığı belirlenmiştir. Birim ağırlık-basınç denklemleri ve korelasyon katsayıları Şekil 4.30.'da verilmiştir.



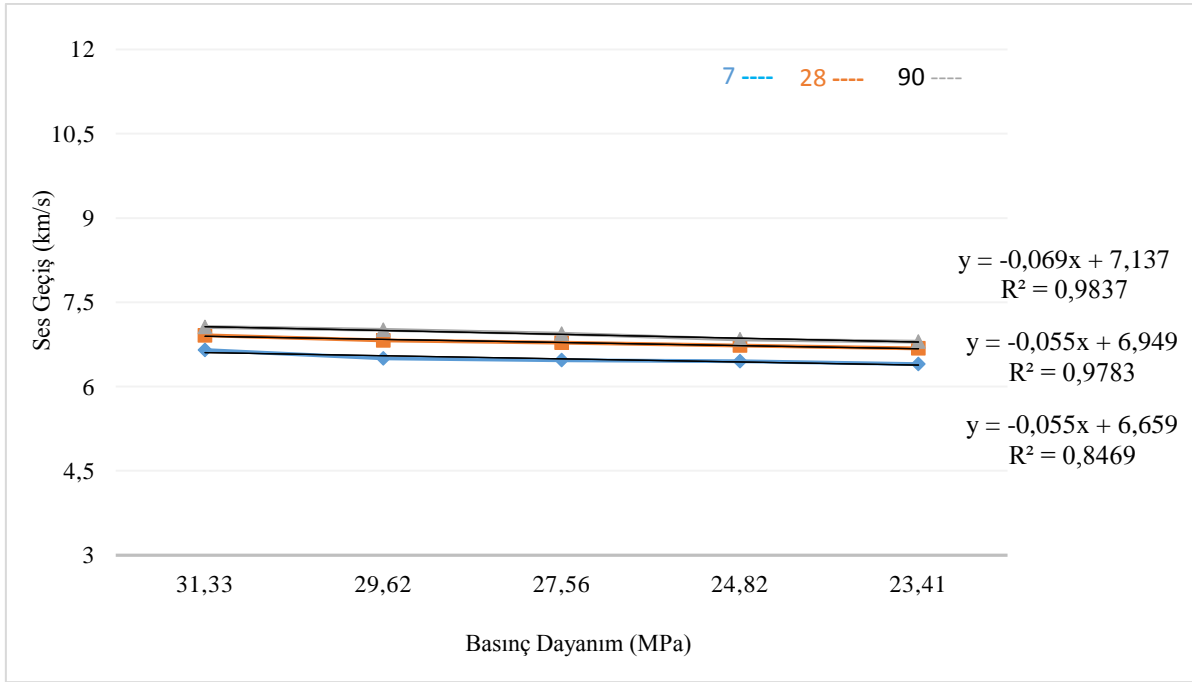
Şekil 4.30. FBK katkılı örneklerin birim ağırlık ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Dayanım değerleri ile dinamik elastisite modülü arasındaki istatistiki ilişkiyi belirlemek amacıyla denklemler geliştirilmiştir. Şekil 4.31.'de verilen regresyon analizi sonuçlarına göre 7 ve 28 günlük örneklerdeki korelasyon katsayısı 0,99 ve 90 günlük örneklerdeki korelasyon katsayısı 0,98 olarak hesaplanmıştır. Tüm kür süreleri için elde edilen analiz sonuçlarına göre basınç dayanımı arttıkça dinamik elastisite modülü değerlerinin de artacağı söylenebilir.



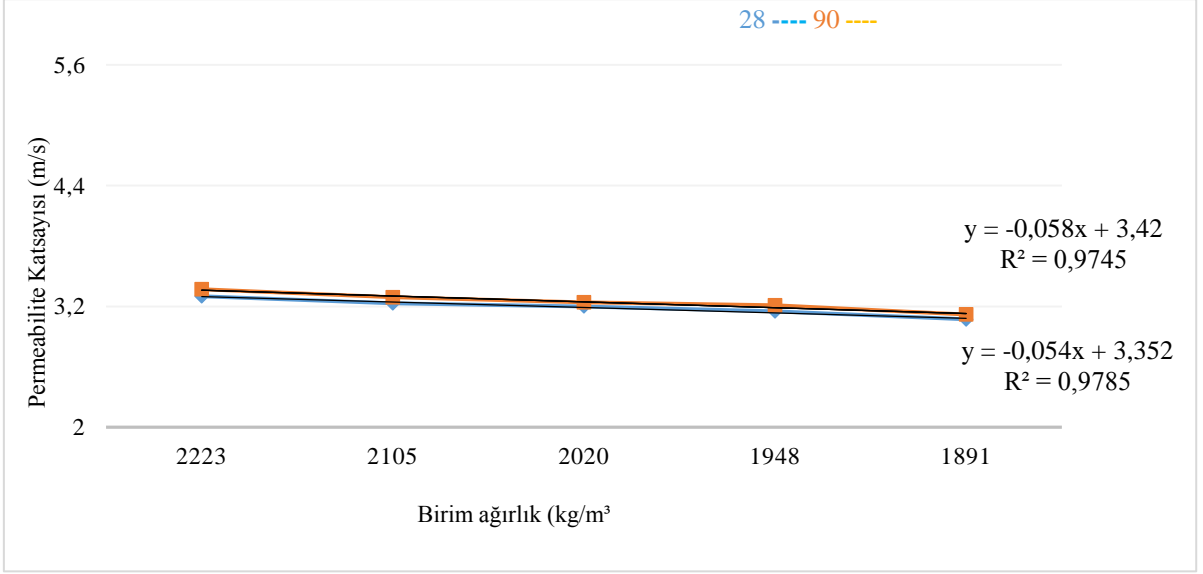
Şekil 4.31. FBK katkılı örneklerin dinamik elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Dayanım özellikleri ve ses geçiş hızları arasındaki istatistikî ilişkiyi belirlemek amacıyla bağımsız ve bağımlı değişkenler belirlenip, tüm kür süreleri için korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Oluşturulan denklemler ve korelasyon katsayıları Şekil 4.32.'de sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre lineerliğe en yakın değer 0,98 korelasyon katsayısına sahip olan 90 günlük kür süresinde elde edilmiştir. 28. günlük kür süresinde 0,97, 7 günlük kür süresinde ise korelasyon katsayısı ise 0,84 olarak bulunmuştur. Özellikle lineerliğe en yakın olan 28 ve 90 günlük beton örneklerinde ses geçiş değerlerindeki azalma ile basınç dayanımlarında da düzenli şekilde azalmanın meydana geleceği söylenebilir.



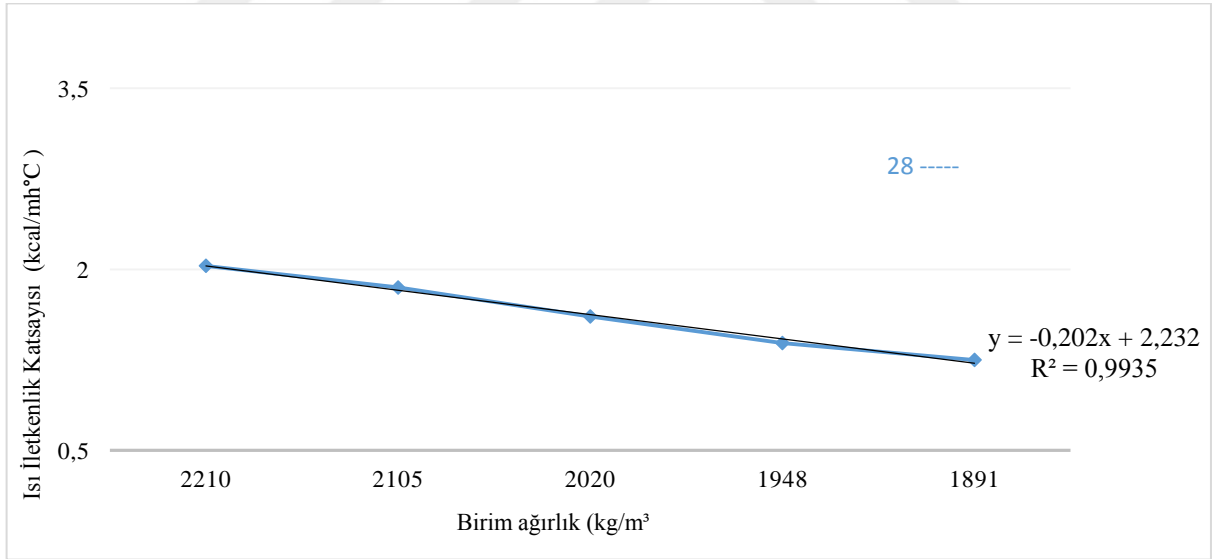
Şekil 4.32. FBK katkılı örneklerin ses geçiş ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Birim ağırlık ve permeabilite değerleri arasındaki istatistikî ilişkiyi belirlemek amacıyla geliştirilen denklemler ve korelasyon katsayıları Şekil 4.33.'de sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre 28 ve 90 günlük kür sürelerinin her ikisinin de korelasyon katsayıları 0,97 bulunmuştur. Lineerliği her iki kür süresinde de aynı oranda sağlandığından bahsedilebilir. Bu bakımdan birim ağırlıktaki değişime paralel olarak permeabilite değerlerinde de değişim olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 4.33. FBK katkılı örneklerin birim ağırlık ile permeabilite arasındaki ilişki

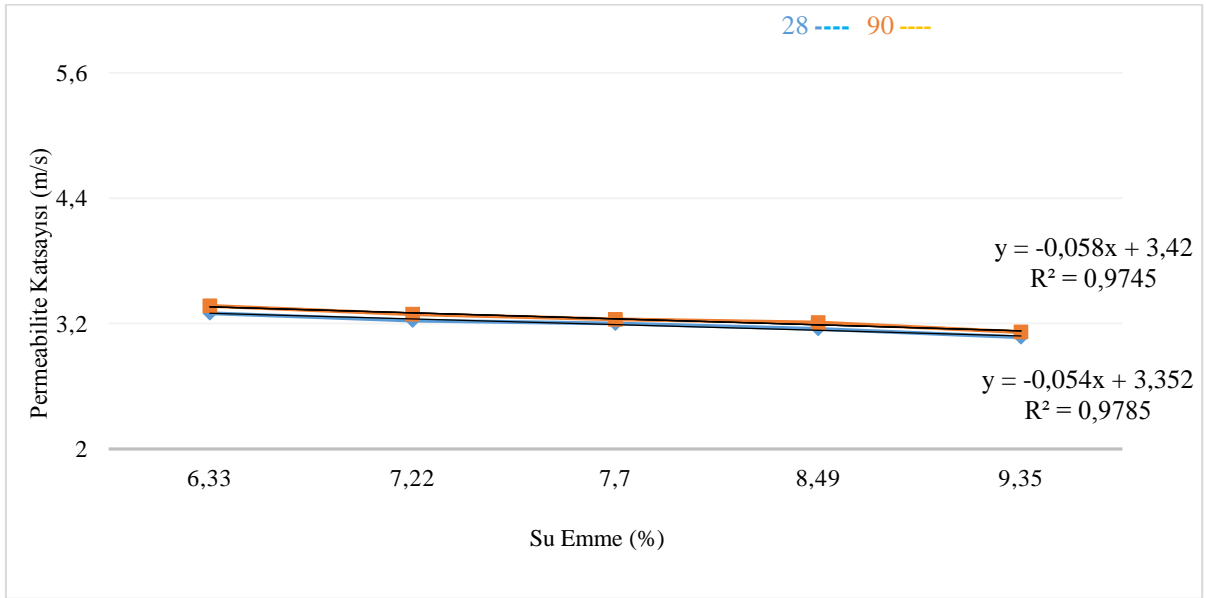
Şekil 4.34.'de verilen birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki analiz sonuçlarına göre 28 günlük kür süresinde korelasyon katsayısı 0,99 bulunmuştur. Lineerlik sağlanmış olup, birim ağırlıktaki azalmalar ile ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde de bir azalma görüleceğinden bahsedilebilir.



Şekil 4.34. FBK katkılı örneklerin birim ağırlık ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki

Örnekler üzerinde 28 ve 90 günlük permeabilite değerleri ile su emme değerleri arasındaki regresyon denklemleri geliştirilmiş olup, her iki kür süresi için ayrı ayrı korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Oluşturulan denklemler ve korelasyon katsayıları Şekil 4.35.'te sunulmuştur. Denklemlere göre her iki kür süresinde de çok yakın değerler elde edilmiştir. 28, ve 90 günlük kür sürelerinin her ikisinin de lineer olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz

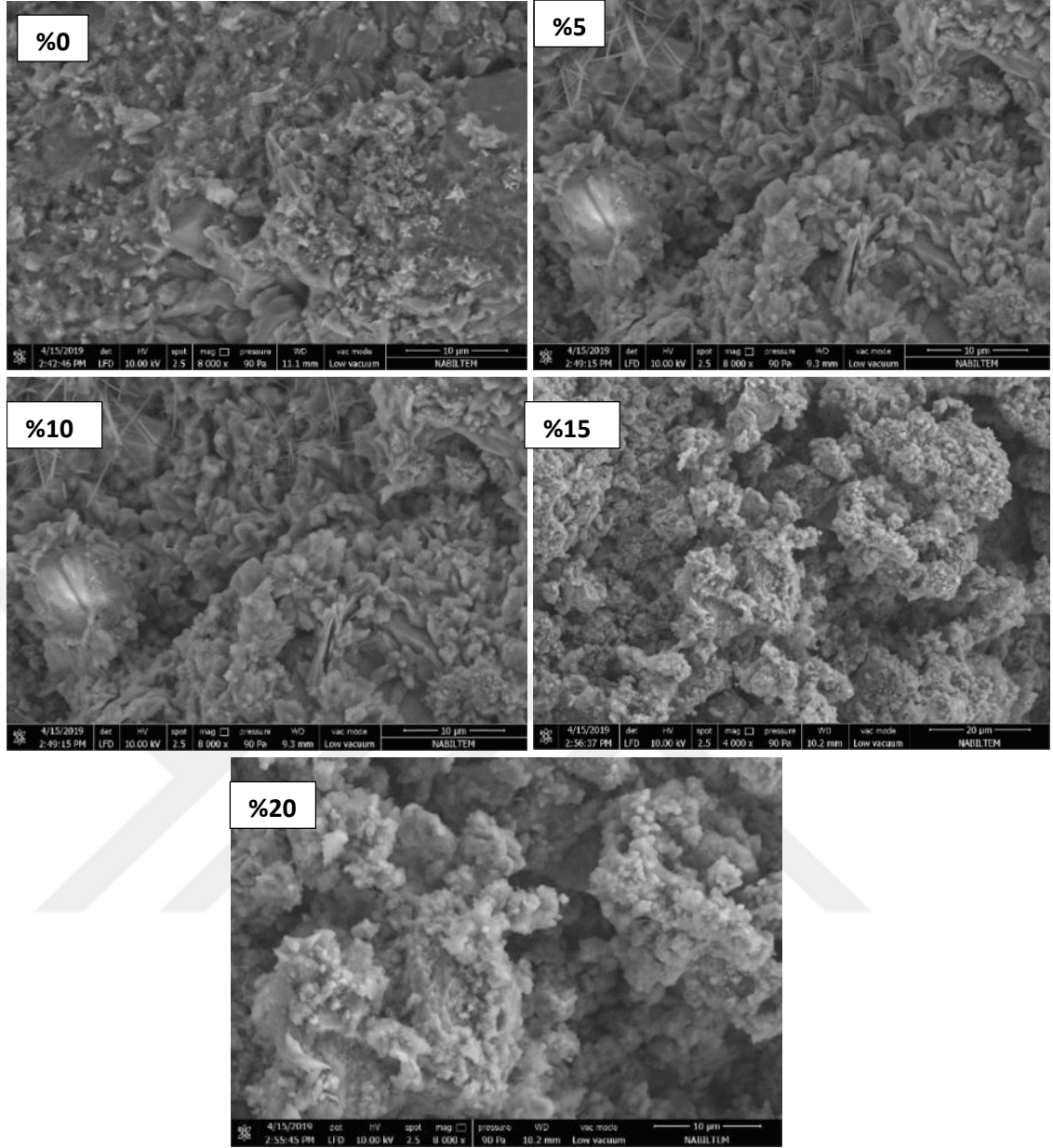
sonuçlarına göre su emme sonuçlarındaki değişimin permeabilite değerlerine de yansıtacağından bahsedilebilir.



Şekil 4.35. FBK katkılı örneklerin permeabilite ile su emme oranları arasındaki ilişki

4.2.4. FBK Katkılı Sertleşmiş Betonların Mikro Yapısı

FBK katkısı ile oluşturulan örneklerde C-H fazlarının kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine dönüştüğünü belirlemek amacıyla SEM görüntüleri yardımıyla mikro yapıları incelenmiştir. Tüm kül katkıları için yapılan SEM görüntülerine göre (Şekil 4.36.) C-H fazlarının kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine dönüştüğü belirlenmiştir. Agregaya ile çimento hamuru arasında yoğun bağ oluşumu gözlemlenmiştir. FBK örnekler içerisinde bulunan karma oksitlerin hidratasyonu sonucunda Ca(OH)_2 meydana getirmiştir. FBK'nın bünyesindeki aktif silis ile reaksiyona girerek (C-S-H) jeline dönüşümünü sağlamıştır. Tüm kül katkıları için belirlenen SEM analizi görüntüleri aşağıda kül katkılarına göre sunulmuştur.



Şekil 4.36. FBK katkıli örneklere ait SEM analizi görüntüleri

4.3.Araştırmada Kullanılan Puzolan Malzemelerin Maliyet Analizi

Puzolan malzeme olarak FK ve FBK katkıli örneklerin maliyet açısından sağlayacağı faydayı belirlemek üzere maliyet analizi yapılmıştır. Tüm katkı yüzdeleri ve şahit örnekler için 300 dozlu ve 1 m³ betonu oluşturan tüm malzemeler için birim maliyetleri belirlenmiştir. 2020 yılı için malzeme birim fiyatları Çizelge 4.19.'da sunulmuştur. Birim fiyatları 1 Ocak 2020 tarihinde yayınlanan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Malzeme Birim Fiyatları listesinden temin edilmiştir.

Çizelge 4.19 Malzeme Birim Fiyatları

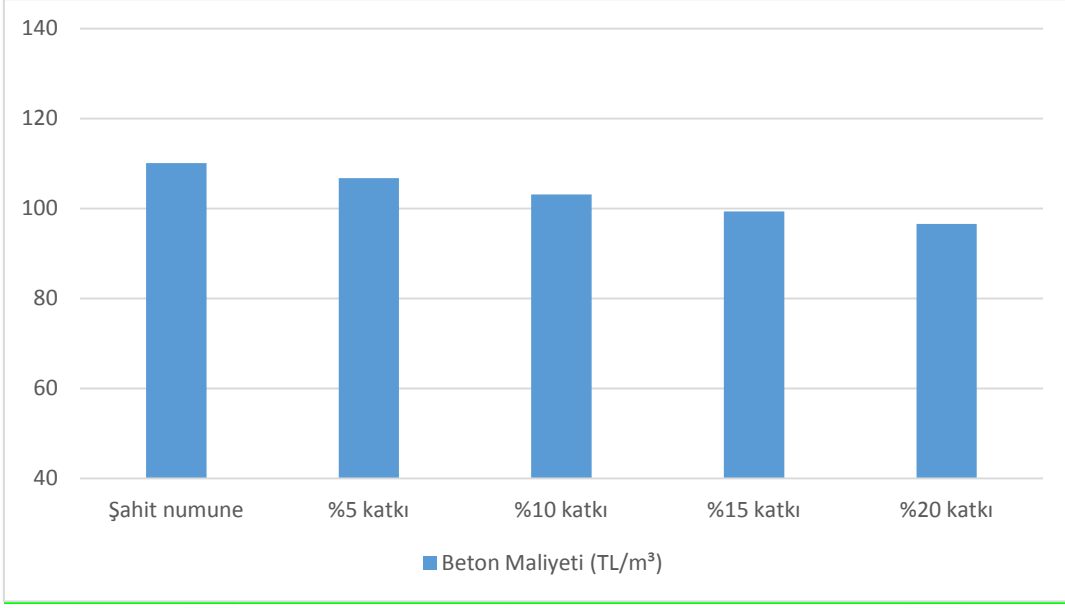
Malzeme	Birim Fiyat
Kül katkısı	FK FBK
Çimento	232 TL/ton
Kırma taş	39,37 TL/ m ³
İnce agregası (Kum)	25,63 TL/ m ³
Su	8,80 TL/ m ³

Üretilcek 300 dozlu 1 m³ beton için araştırma konularına göre ayrı ayrı karışıma giren malzemelerin miktarları belirlenmiş ve birim fiyatlar kullanılarak maliyeti belirlenmiş ve Çizelge 4.20.'de sunulmuştur.

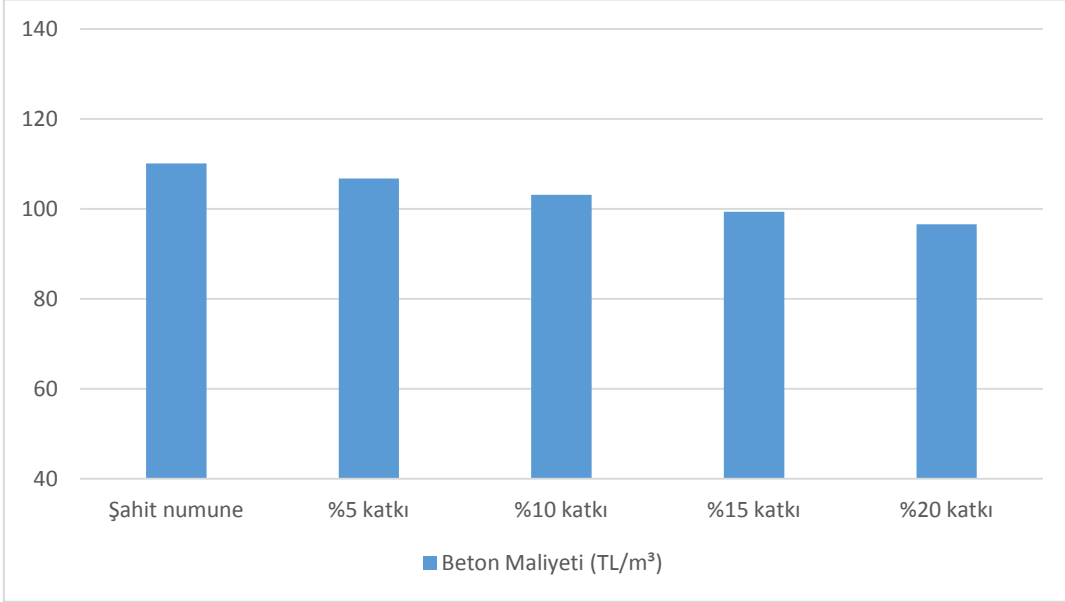
Çizelge 4.20. FK ve FBK katkılı betonların üretim maliyetleri

Örnek Kodu	Dozaj	Katkı Oranı (%)	Maliyet (TL/m ³)	Puzolan Malzeme Kaynaklı Kâr (TL/m ³)
Şahit	300	0	110,13	-
FK-5	300	5	106,75	14,29
FK-10	300	10	103,16	27,28
FK-15	300	15	99,37	39,14
FK-20	300	20	96,51	50
FBK-5	300	5	106,75	14,29
FBK-10	300	10	103,16	27,28
FBK-15	300	15	99,37	39,14
FBK-20	300	20	96,51	50

FK ve FBK katkılı örneklerin tüm katkı yüzdeleri için yapılan maliyet hesaplamalarına göre üretilcek 1 m³ beton için % 5 katkıda %3,07, %10 katkıda %6,34, %15 katkıda %9,78 ve %20 katkıda %12,38 oranlarına maliyette azalma tespit edilmiştir. Kül katkılarının yüzdelerine göre maliyette sağlayacağı faydalar Şekil 4.37. ve Şekil 4.38.'de sunulmuştur.



Şekil 4.37. FK katkıli örneklerin toplam maliyet tutarları



Şekil 4.38. FBK katkıli örneklerin toplam maliyet tutarları

Kül katkısı bulunmayan şahit örneğe fiziksel, mekanik ve termal deneylere göre en yakın değerleri olan kül katkısı olan örnekler maliyet hesaplarında ön planda tutulmuştur. Bu bakımdan genel anlamda 1 m³ için FK'da %10 katkıya kadar ve FBK'da %5 katkıya kadar şahit örneğe çok yakın deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Kül katkılarının şahit örneğe yakın deney sonuçları veren yüzdelere göre FK'nın kullanılması ile % 6,97 maliyet avantajı, FBK'nın kullanılması ile %3,38 maliyet avantajının elde edilebileceği söylenebilmektedir.

Özellikle termal deneyler sonuçlarına göre üretilebilecek yalıtım malzemelerinde kullanılabilecek fındık kabuğu ve briket küllerinin puzolan malzeme olarak kullanılması ile

yüksek maliyet avantajları sağlanabilecektir. Her konuda yalıtım özellikleri şahit örneğe göre daha iyi olmakla birlikte en iyi sonucun elde edildiği %20 katkılar için yaklaşık %13 maliyet avantajı ile %25'lere varan daha iyi yalıtım özelliklerinin elde edilebilmesi mümkündür.

Çimento ve agrega malzemelerinin temin edileceği yer maliyet açısından önemlidir. Nakliye için harcanacak tutar arttıkça maliyetler de etkilenmektedir. Aynı şekilde kül katkılarının da ulaşılabilirliğinin kolay olması çimento ve agregalarda olduğu gibi maliyet açısından önemli olacaktır. Çimento yapım aşaması açısından çevreye zarar vermekte olup, maliyeti de sürekli artan bir malzemedir. Bu bakımdan çimentoya ikame FK veya FBK her halükarda maliyet avantajı sağlayacaktır. Çünkü araştırmada kullanılan küller doğrudan çevreye bırakılan atık malzeme olup, elde etme aşamasında hiçbir maliyetleri bulunmamaktadır.

Günümüz koşullarında termik santrallerden sağlanan uçucu küller kullanılarak belirli standartlarda çimentolar üretilmektedir. Bu durum seri üretime bağlanmış olup maliyet avantajı sağlanmakla birlikte uçucu küllerin çevreye zararların da önüne geçilebilmektedir. Bu bakımdan özellikle ülkemiz koşullarında yoğun üretime sahip tarımsal ürünümüz olan fındığın kabuğunun yakılması ile elde edilebilecek küllerin puzolanik çimento üretiminde kullanılması ve maliyet avantajı sağlanabilmesi mümkündür. Uçucu küllerin puzolan malzeme olarak kullanılması ile atık malzeme olmaktan çıkarıldığı günümüz koşullarında fındık kabuğu ve bu fındık kabuğundan üretilen briket küllerinin de aynı şekilde atık malzeme olmaktan çıkarılabileceği ve çimento açısından maliyet avantajı sağlanabileceği mümkündür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz koşullarında yüksek miktarlarda yetiştiriciliği yapılan tarımsal ürünlerimizden fındığın kabuğunun ve bu kabuktan üretilen briketin ısınma ve enerji amacıyla yakılması sonrasında oluşan ve atık bir malzeme konumundaki küllerin, beton üretiminde puzolan malzeme olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi ve bu betonların tarımsal yapılarda kullanılabilirliğinin ortaya konması amacıyla yürütülen bu çalışmada farklı kür süreleri ve katkı yüzdelere göre üretilen taze ve sertleşmiş betonun fiziksel, mekanik ve termal özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

1. Sertleşmiş haldeki birim ağırlıklar kıyaslandığında tüm kür sürelerinde FBK katkılı örnekler FK katkılı örnekler göre daha hafif sonuçlar vermiştir. Taze haldeki yoğunluk farklılığının sağladığı hafiflik sertleşmiş halde de devam etmiştir. Artan kür sürelerine göre ise her iki kül katkısında da birim ağırlıklarda artış görülmüştür. Daha hafif örneklerin elde edilmesi tarımsal yapılarda yapı yükünün azaltılması açısından FK ve FBK'nın kullanılmasının olumlu katkı sağlayacağını göstermiştir.
2. Ses geçiş hızı açısından değerlendirme yapıldığında değişen kür ve katkı yüzdelere göre FK katkılı örneklerin 6,44 km/s – 7,03 km/s aralığında, FBK katkılı örneklerin ise 6,40 km/s-7,01 km/s aralığında değiştiği belirlenmiştir. Neville (1996) tarafından yapılan çalışmaya göre FK ve FBK katkılı örneklerin ses geçiş hızları artan kül katkısına göre düşmekle birlikte tüm katkı yüzdelinde çok iyi sonuçlar vermiştir.
3. FBK katkılı örneklerin hava boşluğu daha fazla olduğundan dolayı su emme değerleri FK külü katkılı örneklere göre daha fazla olmuştur. Ünal ve Uygunoğlu (2004) tarafından yapılan çalışmaya uygun şekilde her iki kül katkısı da artan kür sürelerinde su emme yüzdesinin düşmesini sağlamıştır. Artan kür süresine göre sağlanan olumlu düşüş FK'da FBK'ya göre daha fazla olmuştur.
4. Birim ağırlıktaki FBK katkılı örneklerdeki elde edilen sonuçların FK'ya göre daha az olması dinamik elastisite modülünün de FBK katkılı örneklerde daha düşük çıkmasına neden olmuştur.
5. Donma –çözünme dayanımı açısından elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde her iki kül katkısının da mukavemet değerlerini düşürdüğü, fakat bu değerlerin Şişman ve ark. (2008), Ekmekyapar ve Örüng (1993) ve Erdoğan (2004) tarafından belirlenen %20 oranındaki düşüşten az olduğu görülmüştür. Bu bakımdan %20 oranında kadar

- FK ve FBK'nın soğuk iklim koşullarındaki tarımsal amaçlı yapılarda puzolan malzeme olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.
6. FK katkılı örneklerin basınç dayanımlarına bakıldığında kür süresi ile dayanımların arttığı ve bu artışın kül katkı oranlarına bağlı olarak %5,70 ile %13,57 arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca 28 günlük örneklerde kül katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarının 31,33 MPa'dan 26,23 MPa'ya düştüğü belirlenmiştir. Araştırmada hedeflenen C25 beton sınıfı FK katkılı örneklerde %10 kül katkısına kadar sağlandığı görülmüştür. Kül katkı oranları %10 ile %20 arasında olan beton örneklerinde ise C20 beton sınıfı değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. FBK katkılı örneklerde ise kül katkı oranlarına bağlı olarak basınç dayanımlarının %5,62 ile %13,81 değişen oranlarda arttığı görülmüştür. 28 günlük örneklerde kül katkı oranının artması ile basınç dayanımları 31,33 MPa'dan 25,03 MPa'ya düşmüştür. FBK katkılı örneklerde C25 beton sınıfı %5 kül katkı oranına kadar sağlandığından bahsedilebilir. %5 ile %20 arası katkı oranlarında ise C20 beton sınıfı değerlerinin sağlandığı belirlenmiştir.
 7. Yarmada çekme dayanımları açısından incelendiğinde FK katkılı örneklerin 2,77 MPa – 5,47 MPa aralığında, FBK örneklerin ise 2,17 MPa- 5,17 MPa aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Her iki kül katkısı da 7, 28 ve 90 günlük kür süresine göre gün sayısı arttıkça Erdoğdu ve ark (2001) ve Erdoğan (1997) tarafından belirtildiği gibi yarmada çekme dayanımı değerleri arttırmıştır.
 8. Permeabilite (geçirimsizlik) katsayıları her iki kül katkısı için Çokça (1997) tarafından yapılan araştırmada belirtildiği gibi düşüş göstermiştir. Permeabilitenin düşüşü her iki külün de tarımsal yapılar açısından su basınçlı zeminlerde puzolan malzeme olarak kullanılabilmesini göstermektedir.
 9. Yalıtım açısından kül katkı oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısının düştüğü ve yalıtım özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir. FBK, oluşturduğu boşluk miktarının daha fazla olmasından dolayı FK'ya göre daha iyi yalıtım özelliklerine sahiptir. Her iki kül için %20 katkı oranı yalıtım özellikleri açısından en iyi seviyedir. Ayrıca kül katkıları tarımsal yapılarda ses yalıtımının artışı sağlamıştır.
 10. Basınç dayanımı ile dinamik elastisite modülü arasındaki karşılaştırmalı istatistiksel ilişki sonuçlarına göre her iki kül katkısı için tüm kür sürelerinde iyi bir lineer ilişkinin mevcut olduğu görülmektedir.
 11. Mukavemet özellikleri ile donma çözünme deneyi arasındaki ilişkiye göre her iki kül katkısında da lineerliğe en yakın değer 28 günlük kür süresinde elde edilmiş olup, artan kür süresi 28 günlük değerlere çok yakın korelasyon katsayısına sahiptir. 28 ve

90 günlük kür sürelerin için her iki kül katkısı için basınç dayanımı ve donma çözünme değerleri arasında çok iyi lineer bir istatistiki ilişki bulunmaktadır.

12. Isı iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımı arasında FK ve FBK için 28 kür süresi için çok yakın korelasyon katsayısına sahip lineer bir ilişki bulunmaktadır.

Araştırma kapsamında üretilen FK ve FBK katkılı örneklerin yukarıda verilen mekanik, fiziksel ve termal sonuçlarına göre kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Tarımsal yapıların temellerinde, döşeme ve kat betonlarında ve taşıyıcı eleman betonlarında %10 FK ve %5 FBK katkılı örnekler kullanılabilir. FK ve FBK ile üretilen betonların su emme oranlarının yüksek olması, bu betonların su ile temas edecek yapı elemanlarında ancak su yalıtımı yapılarak kullanılmasını zorunlu hale getirir. Yalıtım amaçlı ise her iki kül katkısının da %20 oranında kullanıldığı örneklerin seçimi yalıtım açısından daha uygun olacaktır. Üretilen betonların kaplama betonu olarak yapılarda kullanımı ile ısınma maliyetlerinde de düşüş sağlanabilecektir.
- Araştırma kapsamında üretilen %10FK, %5FBK katkılı örneklerin belirtilen kullanım alanları dışında, yapım koşulu olarak C25 beton standartları istenilen yapılarda kullanımı ile farklı yapılarda değerlendirilmeleri mümkündür. Bu yüzdelerin dışında, tüm katkı oranlarında her iki kül için C20 beton sınıfını sağladığından dolayı bu sınıfta betonun kullanıldığı yapıların tümünde %10-%20 aralığında FK ve FBK katkılı betonların kullanılabileceğinden bahsedilebilir.

Sonuç olarak fındık kabuğu külünün ve fındık kabuğundan üretilen briketin külünün puzolan malzeme olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Böylece, biyolojik kaynaklı atık bir malzeme olan fındık kabuğu ve briket külünün tarımsal amaçlı yapılarda kullanılması ile yeni bir ürün eldesi mümkündür. Ayrıca bu küllerin doğaya bırakılmasının önlenmesi ile çevre kirliliği ve insan sağlığına verilebilecek zararların da önüne geçilebilecektir. Araştırma sonucunda elde edilen puzolan malzemenin tarımsal yapılarda değerlendirilmesi ile yapım maliyetlerinde düşüş sağlanacağından da bahsedilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Acar, M., (2003), “Fiyat Desteğinden Doğrudan Desteğe: Dünyada Tarımsal Destekleme Politikalarında Yeni Yönelimler”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı 2, ss. 101-116.
- Açkurt,F.,(1996), Fındığın Beslenme ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi. Tirebolu I. Fındık Festivali (6-7 Eylül 1996), Bildiriler, Tirebolu Belediyesi Kültür Yay. No: 2, İstanbul.
- Acaroğlu, M, Hacıseferoğulları H (2014). Biyokütle Enerjisinde Briketleme ve Peletlemede Yeni Test Prosedürleri. 2014 Kış Okulu Biyokütle Enerji Teknolojileri, 10-15 Şubat, İzmir, 47-84.
- Aktaş, A.R., Öztürk, E., Hatırlı S.A. (2009). Dünya fındık piyasasında Türkiye'nin rolü. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 1:1.
- Akman, H. (2012). Yağ Gülü (Rosa domascena Mill) Damıtma Atıklarının briketlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Dalı,S:57 Antalya.
- Akman, H , Bilgin, S . (2012). Pamuk Saplarının Hidrolik Tip Preste Briketlemesi Üzerine Bir Çalışma . Tarım Makinaları Bilimi Dergisi , 8 (1) , 99-106 .
- Alkaya Ş (2010). Hafif Beton Üretiminde Organik Atıkların (Ayçiçeği Sapı) Kullanılabilme Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- ASTM C597-83 (1991). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, Philadelphia.
- ASTM C1113-99 (2004)., Standarts Test Method for Thermal Conductivity Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Thecnique).
- Anonim, (2017). Gümrük ve Ticaret Bakanlığı 2017 Yılı Fındık Raporu, <http://koop.gtb.gov.tr/data/5ad06bb9ddee7dd8b423eb23/2017%20F%C4%B1nd%C4%B1k%20Raporu.pdf> (Erişim tarihi: 14.07.2019)
- Anonim, (2018-a). Fındık Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Fındık Araştırma Enstitüsü. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/findik/>. (Erişim tarihi:28.10.2018).
- Anonim, (2018-b). Türkiye'nin fındık ekim alanları ve üretim miktarları. Ziraat Mühendisleri Odası.Erişimtarihi:04.07.2019.
https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30070&tipi=17&sube=0
- Anonim, (2020). İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik –Araç ve Gereç Rayiç Listeleri. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı. Erişim tarihi: 19.12.2020
<https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/insaat-birim-fiyatları-2020-turkce>
- Arslan, M., (2008). Yapı Teknolojileri 2 (Birinci Baskı), Seçkin Yayıncılık, Teknik Kitaplar Dizisi:23, Ankara.

- Ataie, F.F., Riding, K.A. (2013). Thermochemical Pretreatments for Agricultural Residue Ash Production for Concrete. In: Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), v. 25, n. 11 (November 2013).
- Bakır, H. (2011). Dolgu Maddesi Oranının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011. Ankara.
- Balaban, A., Şen. E., (1988). Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1083. Ankara
- Balık, H.İ., Balık, S.K., Beyhan, N., Erdoğan, V. (2016). Fındık Çeşitleri. Klamat Matbaacılık Yayınevi, 93, Ankara.
- Bapat, J. (2013). "Mineral admixtures in cement and concrete", Cem. Concr. Res., s. 283.
- Baş, F., Ömeroğlu, S., Türdü, S., Aktaş, S.,(1986).Önemli Fındık Çeşitlerinin Bileşim Özelliklerinin Saptanması. Gıda 11:4, 195-203.
- Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H. H., Kacira, M. & Ekinci, K., (2005). Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International congress on mechanization and energy in agriculture and 27th international conference of cigr section iv: the efficient use of electricity and renewable energy sources in agriculture, 195- 199, Izmir.
- Baysal, A. (1996). Beslenme. Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 494 sayfa.
- Baysal, A. (1993). Genel Beslenme, (8.Baskı), Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 194 sayfa.
- Bilgin, S., Yılmaz, H., Koçer, A., Acar,M., Dok, M.,(2014). Ayçiçeği Saplarının Konik Helezon Tip Briket Makinesinde Briketlenmesi.
- Binici, H., Yuçegok, F., Aksogan, O., Kaplan, H., (2008). Effect of corncob, wheat straw, and plane leaf ashes as mineral admixtures on concrete durability, Journal of Materials in Civil Engineering, 20 (7), 478-483.
- Binici, H., Aksogan, O., (2011). The use of ground blast furnace slag, chrome slag and corn stem ash mixture as a coating against corrosion, Construction and Building Materials, 25 (11), 4197-4201.
- Biricik, H., (1995). Buğday Sapı Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s, İstanbul.
- Biricik, H., Berktaş, İ., Aköz, F., Tulgar, A. N., (1996). Buğday Sapı Külünün Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması. 4. Ulusal Beton Kongresi, 369-380.
- Çokça, E., (1997), Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash, Journal of Energy Engineering., Vol. 123, No: 1, 1-10.

- Chusilp N., Jaturapitakkul C. ve Kiattikomol K., (2009), Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete; *Construction and Building Materials* 23, 3352–3358
- Demirbaş, A. (2006). Turkey's renewable energy facilities in the near future. *Energy Sources*, 28, 527-536.
- Demirbaş, A. (2008). Importance Of Biomass Energy Sources For Turkey. *Energy Policy*, 834-842.
- Demirel, B. (2016). Fındık Zurufu, Mısır ve Ayçiçeği Saplarının Katı Biyoyakıt Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması. Doktora Tezi, OMU Fen Bilimleri Enstitüsü, S: 129, Samsun.
- Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ., (1997). İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniv., Ziraat Fak. Ders Yay., No:145, Erzurum.
- Ekmekyapar, T., Örüng, İ., (1993). İnşaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:151, Erzurum.No:145, Erzurum.
- Erdoğan, T.Y., (1995). Agregalar, ODTÜ-Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 1997. *Admixtures for Concrete*. The Middle East Technical University Press, Ankara, 188s.
- Erdoğan, T. Y. (2004). Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 975-92122.
- Erdoğan T. Y. (2007). Beton, O.D.T.Ü. Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., (2007). Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri. II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 263-275, Ankara.
- Erdoğdu,K., Tokyay,M.,Türker,P., (2001). Traslara ve Traslı Çimentolar ,3.Baskı,TCMB Arge Enstitüsü, Ankara,
- Ergün, Mustafa. (1995). Bilimsel Araştırmalarda Bilgisayarlarla İstatistik Uygulamaları-Spss For Windows-, Ocak Yay., Ankara.
- Esin T, Yüksek İ (2008), “A Study on Ecological Properties of Building Materials Used in Traditional Buildings (In Turkey) Facilities, Volume:26, Issue:5/6,pp. 229-241.
- Felekoğlu B ve Baradan B (2004). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri. Beton 2004 Kongresi, İstanbul Fındık,<http://docplayer.biz.tr/2955075-Tarimsal-ekonomi-ve-politika-gelistirme-enstitusutepege.html> (15.04.2019)
- Grover, P.D. and Mishra, S.K. (1996) *Biomass Briquetting: Technology and Practice*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia. Field Document No. 46, Food and Agricultural Organization..

Günderli U (2008). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Haykırı Açma, H., Özyuğuran, A.(2016).Afsin-Elbistan Liniyitinin Biyokütle ve Bağlayıcı Katkısıyla Briketlenmesi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölüm,34469 Maslak,İstanbul.

Hoşgün, E.Z., Bozan, B. (2017). Düşük sıcaklık düşük zaman alkali ön işlemlerinin fındık kabuğunun bileşimi ve enzimatik hidrolizi üzerine etkisinin incelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University **32**: 517-529.

Kaplan, S. A., (2003). Betonarme Temel İlkeler, Malzeme, Eğilme, Kesme, Aderans, Kullanılabilirlik Bilbeyki Yayınevi No: 4 İstanbul.

Karaca, C., Başçetinçelik, A. (2011).VI.Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Yerfistiği Kabuğunun Briketleme Özelliklerinin ve Yanma Emisyonlarının Belirlenmesi, Bildiriler Kitabı,50-58 Kayseri.

Karaosmanoğlu, H., Üstün, N.Ş. (2017). Organik ve konvansiyonel fındıkların (corylus avellana l.) bazı fiziksel özellikleri. Akademik Gıda Dergisi, 15:4, 377-385.

Kocataşkın F (1991). Betonun Dünü Bugünü Yarını. 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası S:23-42

Köksal A.İ.; Artık N.; Şimşek A.; Güneş N., (2006). Nutrient composition of hazelnut (Corylus avellana L.) varieties cultivated in Turkey, Food Chemistry, 99, (3), 509-515.

Malinowski, R. (1982). Durable ancient mortars and concretes. Nordic Concrete Research, The Nordic Concrete Federation 19, 1, 1-22.

Mazlum, F., (1989). Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 129s, İstanbul.

Mazsazza, F., (1998). ‘Puzolanlar, Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları’, Seminer, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği 41-79, Ankara.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., (2006) “Concrete, Microstructure, Properties an Materials”, McGraw-Hill Companies, Inc., Third Edition, New York, 486.

Melki, S. (2017). Şeftali Bahçesi Budama Atıklarının Briket Formunda Katı Biyoyakıt Olarak Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı. 59 s. Samsun

Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Yap, S. P., Lee, S. C., (2016). Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review, Journal of Cleaner Production ,117, 122-138.

Neville A M (1996). Properties of Concrete. John Wiley&Sons Inc, New York

Neville, A.M., (1990). Properties of Concrete. Pitman Publishing,77-81, London.

- Onaran K (2003). Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul
- Orhunbilge. A. N. (2002).Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi. İ.Ü. Basım Ve Yayınevi Müdürlüğü, pp.340. İstanbul.
- Özgüven, A., (1977), Tarım Ekonomisi ve Politikası, Bursa Üniversitesi Yayınları, Bursa.
- Özgören, M., Köse , F., Aksoy ,M., Canlı, E., Solmaz, Ö., Doğan, S., Yağmur,S. (2012). Konya’ da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilir araştırması. Biokütle enerjisi.
- Özşahin B (2011). Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği. Doktora Tezi. Trakya Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalı, Edirne
- Polat, R., Oğuz, H., Erdoğan, A., Bilim,C., (2013).Ulusal tarımsal mekanizasyon kongresi, Antepfıstığı iç ve dış kabuklarının yakacak olarak kullanılması için briketlenmesi ve briket özelliklerinin belirlenmesi,2013,Konya.
- Pappu A. Saxena, M. Asolekar, S.R. (2007). Solid Wastes Generation in India and their Recycling Potential in Building Materials. Building and Environment, 42: 2311-2320.
- Rukzon S. ve Chindaprasirt P., (2012), Utilization of bagasse ash in high-strength concrete; Materials and Design 34, 45–50
- Saraçoğlu, N. (2008). Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormanlığı Önemi VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,s.17-21,265-271,Ankara,17-21 Aralık.
- Saran, G.A. Doğan, Ü.A. Özkul, M.H. (2007).Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Klorür Etkisinde Korozyona Karşı Performansı – 7. Ulusal Beton Kongresi, 28.11.2007, Ankara.
- Sarıkaya, H. (2006). Zeolit katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Şahin, S., (2002). Tarımsal yapılarda kullanılan hafif agregalı beton blokların bazı özelliklerinin iyileştirilmesi olanakları üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enst., Erzurum, 164 s.
- Şimşek, O., (2004). Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, ISBN 9753478097, 247s, Ankara.
- Şimşek, O., (2009). Beton ve Beton Teknolojisi (Üçüncü Baskı), Teknik Bilimler Dizisi:10, Ankara.
- Şişman C B, Kocaman İ ve Gezer E (2008). Doğal Zeolitten Üretilecek Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25
- Şişman, C.B., Gezer, E. (2011). Performance characteristics of Concrete Containing Natural and Artificial Pozzolans. Journal and Agricultural and Environment,9,493-497.

Şen, H.M., (2006), Türkiye' nin genel enerji durumu. ENKÜS 2006, İTÜ Enerji Çalıştay ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar, 23-26 Haziran 2006, Enerji Enstitüsü Yayınları, No: 2006/1,

Topçu İB (2006). Beton.İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi Yayınları,Uğur Ofset A.Ş.,Eskişehir.

Topçuoğlu, G. (2008). Uluslararası piyasada fındığın Türkiye ekonomisine katkısı ve sorunları. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.

Türk Standartları Enstitüsü (2013). Uçucu Kül- Betonda kullanılan- Bölüm: 1 Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri. TS-EN 450-1, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2008). Uçucu Kül- Betonda kullanılan- Bölüm: 2 Uygunluk değerlendirmesi. TS-EN 450-2, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2019). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluk tayini. TS-EN 12390-7, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2008). Doğal Puzolan (Tras) – Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. TS-25, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2010). Beton, Taze Beton Deneyleri (Yoğunluk deneyi). TS EN 12350-6, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2010). Beton, Taze Beton Deneyleri (Hava muhtevası –Basıncap tekniği). TS-EN 12350-7, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2002). TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat Ve Uygunluk, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2003). Beton- karma suyu- numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, TS EN 1008. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2011). Betonun donma çözülme direncinin tayini- yapısal iç hasar, TSE CEN/TR 15177. Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2012). Çimento- Bölüm:1 Genel Çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TS-EN 197-1, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2015). Agregaların ısıl ve bozunma özellikleri için deneyler- TS EN 1367-4, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2012). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini- Eleme Yöntemi. TS-EN 933-1, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2018). Piknometre ile yoğunluk tayini, TS ISO 3507, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm-2: Çökme (slump) deneyi. TS EN 12350-2, Ankara.

- Türk Standartları Enstitüsü (2009). Beton agregaları, TS 706 EN 12620+A1, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2010). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm: 6 Deneysel numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TS-EN 12390-6., Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2012). Beton Deneyleri- Bölüm:4 Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, TS EN 12504-4, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2014). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm: 9 İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi. TS-EN 933-9+A1, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2015). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, TS EN 933-3, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2017). Beton, Özellik, performans, imalat ve uygunluk. TS:EN206:2013+A1, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, (2019). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm: 3 Deneysel numunelerinin basınç dayanımının tayini, TS-EN 12390-3, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, (2019). Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm:2 Dayanım Deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması, TS EN 12390-2, Ankara.
- Uluata, A. R., (1981). Beton Malzemeleri ve Beton, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Erzurum,
- Uncu, E.B. (2008). Farklı lamine ambalajların öğütülmüş fındıklarda oksidasyon ve toplam tokoferol düzeyi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Uysal H, Demirboğa R, Şahin R ve Gül R (2004). The Effects of Different Cement Dosage and Pumice Aggregate Ratios on The Thermal Conductivity and Density of Concrete. Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd. 34:845-848.
- Ünal O, Uygunoğlu T (2004). Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. Türkiye 14. Kömür kongresi bildiriler kitabı, Cilt 1: 310-321, Zonguldak.
- Yaşaroğlu, B. 2017. Fındık hasar tespit tekniği. Tarım Sigortaları Havuzu Ekspertiz Eğitimi Ders Notları, 202-225.
- Yavuz, G.G. (2013), Fındık Durum ve Tahmin- 2012/2013. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPG

EKLER

EK 1. Beton Karışım Tablosu

Beton Kodu	Toplam Bağlayıcı Miktarı, kg/m ³	Fındık Kabuğu Külü kg/m ³	Çimento	Çimento Miktarı kg/m ³	Su/Çimento	Karışım Suyu Miktarı, kg/m ³	Agrega Miktarları, kg		
		Fındık Kabuğu Briket Külü kg/m ³					(0-5 mm)	(5-12mm)	(12-22 mm)
ŞAHİT	300	0	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	300	0,58	175	898,62	215,67	682,95
FK-5	300	14,29	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	285,72	0,58	175	897,50	214,70	680,50
FK-10	300	27,28	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	272,75	0,58	175	897,68	215,42	682,16
FK-15	300	39,14	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	260,9	0,58	175	896,63	216,19	681,44
FK-20	300	50,00	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	250	0,58	175	895,78	214,99	680,80
FBK-5	300	14,29	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	250	0,58	175	899,12	215,79	683,33
FBK-10	300	27,28	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	285,72	0,58	175	895,92	216,65	682,88
FBK-15	300	39,14	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	260,9	0,58	175	897,99	215,12	681,97
FBK-20	300	50,00	Bartın Çimento CEM I 42.5 R	250	0,58	175	896,51	217,40	682,11