



**YUMURTA KABUĞU, TAVUK TÜYLERİ VE MERMER
TOZUNUN BETON KATKISI OLARAK KULLANIMI
VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim Güngör DİLEK

Danışman

Prof. Dr. Ayhan EROL

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YUMURTA KABUĞU, TAVUK TÜYLERİ VE MERMER
TOZUNUN BETON KATKISI OLARAK KULLANIMI VE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

İbrahim Güngör DİLEK

Danışman

Prof. Dr. Ayhan EROL

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mayıs 2023

TEZ ONAY SAYFASI

İbrahim Güngör DİLEK tarafından hazırlanan “Yumurta Kabuğu, Tavuk Tüyleri ve Mermer Tozunun Beton Katkısı Olarak Kullanımı ve Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 09/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ayhan EROL

Başkan : Doç. Dr. Ahmet DEMİRER
Sakarya Uyg. Bilimler Üni., Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Ayhan EROL
Afyon Kocatepe Üni., Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN
Afyon Kocatepe Üni., Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

09 / 05 / 2023

İbrahim Güngör DİLEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YUMURTA KABUĞU, TAVUK TÜYLERİ VE MERMER TOZUNUN BETON KATKISI OLARAK KULLANIMI VE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İbrahim Güngör DİLEK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan EROL

Gıda endüstrisi atıkları, yaygınlığı, ulaşılabilirliği ve miktarı açısından büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu araştırmada, yumurta kabuklarının çimentoya ikame yoluyla betona etkileri incelenmiştir. Ayrıca tavuk tüylerinin, yumurta kabukları ile birlikte bağlayıcı lif (fiber) amacıyla takviye malzemesi olarak kullanımının sonuçları da incelenmiştir. Yumurta kabuğunun etkilerinin kapsamlı değerlendirilmesi için, çimento sektöründe yaygın olarak kullanılan kalker ve mermer endüstrisi atığı olan mermer tozu da katkı olarak kullanılıp kapsam genişletilmiştir. Bu kapsamda, laboratuvar şartlarında katkısız bir çimento hazırlanıp, bu çimentoya tüm katkıları farklı oranlarda ikame edilerek 12 adet katkılı çimento numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento numunelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre tüm numunelerin çimento standardına göre ayrı ayrı uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Öğütülmüş yumurta kabuğunun %10'a kadar ikamesiyle CEM I 42,5 R Portland çimentosu üretimi yapılabileceği gibi, daha yüksek oranlarda kullanılabileceği de belirlenmiştir. Yumurta kabuğu ile üretilen çimentonun, betonda erken dayanımları artırma özelliğinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yumurta kabuğu ile birlikte çimentoya tavuk tüyü takviye edildiği takdirde betonun priz süresinin kısaldığı belirlenmiştir.

2023, x + 76 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çimento, Beton, Yumurta kabuğu tozu, Tavuk tüyü, Mermer tozu, Kalker.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE USE OF EGG SHELL, CHICKEN FEATHERS, MARBLE POWDER AS CONCRETE ADMIXTURE AND INVESTIGATION EFFECTS

İbrahim Güngör DİLEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Ayhan EROL

Food industry waste has a great potential for use in terms of prevalence, accessibility and quantity. In this research, the effects of eggshells on concrete by substitution of cement were investigated. In addition, the results of using chicken feathers together with egg shells as fiber reinforcement material were also examined. For the comprehensive evaluation of the effects of eggshell, marble dust, which is a waste of limestone and marble industry widely used in the cement industry, was also used as an additive. In this context, an additive-free cement was prepared under laboratory conditions and 12 cement samples with additives were prepared by substituting all additives to this cement in different proportions. Physical, chemical and mechanical tests of these samples were carried out. According to the test results, conformity assessment of all samples according to the cement standard was carried out separately. It has also been determined that CEM I 42.5 R Portland cement can be produced and used at higher rates by substituting up to 10% of ground eggshell. Cement produced with eggshell has been found to increase the early strength of concrete. In addition, it was determined that the setting time of the concrete was shortened if chicken feathers were added to the cement together with the egg shell.

2023, x + 76 pages

Keywords: Cement, Concrete, Eggshell powder, Chicken feather, Marble powder, Limestone.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayhan EROL, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Meslektaşım Ahmet ÖZDEMİR 'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme içtenlikle teşekkür ederim.

İbrahim Güngör DİLEK
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Kalker (Kireç Taşı) Katkılı Çimento	3
2.2 Mermer Tozunun Katkı Olarak Kullanımı	4
2.3 Yumurta Kabuğunun Katkı Olarak Kullanımı.....	9
2.3.1 Tavuk Tüyünün Takviye Elemanı Olarak Kullanılması	13
3. MATERYAL ve METOT	16
3.1 Kullanılan Malzemeler	16
3.1.1 Şahit Numunenin Hazırlanması	16
3.1.2. Kalker (Kireçtaşı) Katkısı	19
3.1.3 Mermer Tozu Katkısı	21
3.1.4 Yumurta Kabuğu Tozu Katkısı	22
3.1.5 Takviye Malzemesi Olarak Kullanılacak Tavuk Tüyünün Hazırlanması....	24
3.1.6 Standart Cen Kumu	27
3.1.7 Harç Suyu.....	27
3.2 Metod	27
3.2.1 Fiziksel ve Kimyasal Analizler ile Mekanik Testler	29
3.2.1.1 Fiziksel Analizler	29
3.2.1.2 Kimyasal Analizler.....	29
3.2.1.3 Mekanik Testler.....	31
4. BULGULAR	32
4.1 İncelik Tayini (Elek Analizleri)	32
4.2 Karbonat Miktarı (Titrasyon Değeri).....	33
4.3 Kızdırma Kaybı (Ateş Zayıyatı)	34

4.4 Çözünmeyen Kalıntı Miktarı	37
4.5 Kimyasal Analizler	38
4.6 Harcın Kıvam (Su İhtiyacı) Tayini	42
4.7 Hacim Genleşmesi Tayini.....	43
4.8 Priz (Sertleşme) Süresi Tayini	45
4.9 Basınç Dayanımları.....	47
4.9.1 CEM I Sınıfına Göre Basınç Dayanım Sonuçlarının değerlendirilmesi	53
4.9.2 CEM II / A-L Sınıfına Göre Basınç Dayanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	64
6. KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
MgCO ₃	Magnezyum Karbonat
CO ₃ ⁻²	Karbonat iyonu
CO ₂	Karbon Dioksit
NO _x	Azot Oksitler
SO ₂	Kükürt Dioksit
CO	Karbon Monoksit
CaSO ₄ .2H ₂ O	Kalsiyum Sülfat Dihidrat, Alçıtaşı, Jips
SiO ₂	Silisyum Dioksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
CaO	Kalsiyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
SO ₃	Kükürt Tri Oksit
Na ₂ O	Sodyum Oksit
K ₂ O	Potasyum Oksit
HCl	Hidro Klorik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
Na ₂ CO ₃	Sodyum Karbonat
LSF	Lime Saturation Factory, Kireç Doygunluk Faktörü
S.M.	Silikat Modülü
A.M.	Alüminyum Modülü
C3S	Tri Kalsiyum Silikat, Alit
C2S	Di Kalsiyum Silikat, Belit
C3A	Tri Kalsiyum Alüminat, Selit
C4AF	Tetra Kalsiyum Alümina Ferrit, Ferrit
°C	Santigrat Derece
mm	Milimetre
mL	Mililitre
N/2	0,5 Normal Konsantrasyon Birimi
N/4	0,25 Normal Konsantrasyon Birimi
µm	Mikrometre

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CE	Conformité Européenne, Ürün Uygunluk Belgesi,
C35	C35/45 Beton Sınıfı
Katk. Çim.	Katkılı Çimento
LF	Kireçtaşı Dolgu Maddesi
min.	Minimum, En az
M.T.	Mermer Tozu
M20	Beton Sınıfı
M30	Beton Sınıfı
PC	Portland Çimentosu
PLC	Portland Kireçtaşı Çimentoları
SCM	Çimento Katkı Malzemeleri
XRD	X Işını Difraktogramı
Y.K.T.	Yumurta Kabuğu Tozu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırması	25
Şekil 4.2 CEM II / A-L Sınıfı çimento numunelerinin kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırması.....	37
Şekil 4.3 Tüm çimento numunelerinin priz (sertleşme) başlangıç ve priz bitiş süreleri.....	47
Şekil 4.4 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).....	55
Şekil 4.5 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).....	55
Şekil 4.6 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).....	56
Şekil 4.7 CEM II A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).....	57
Şekil 4.8 CEM II A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).....	58
Şekil 4.9 CEM II A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).....	58
Şekil 4.10 CEM II A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).....	60
Şekil 4.11 CEM II A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).....	60
Şekil 4.12 CEM II A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).....	61
Şekil 4.13 %5 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.....	62
Şekil 4.14 %10 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.....	62
Şekil 4.15 %15 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Şahit numune için kullanılan klinker numunesinin kimyasal analizi ve fazları	17
Çizelge 3.2 Şahit numune için kullanılan alçı taşı numunesinin kimyasal analizi.....	17
Çizelge 3.3 Şahit numunenin kimyasal analiz sonucu ile faktör ve faz verileri	19
Çizelge 3.4 Öğütülmüş kalker katkısının kimyasal analizi	20
Çizelge 3.5 Öğütülmüş mermer tozu katkısının kimyasal analizi.....	21
Çizelge 3.6 Öğütülmüş yumurta kabuğu tozu katkısının kimyasal analizi	23
Çizelge 3.7 Çimento sınıfına göre kullanılan katkı ve takviye malzemesi miktarları ...	28
Çizelge 4.1 Şahit numune ve katkı numunelerinin 32 micron elek üstü bakiyeleri ve D90 tane boyutu değerleri	33
Çizelge 4.2 Katkılı çimento numunelerinin 32 micron elek üstü bakiyeleri.....	33
Çizelge 4.3 Katkı numunelerinin Karbonat miktarları.....	34
Çizelge 4.4 Tüm numunelerin kızdırma kaybı sonuçları	35
Çizelge 4.5 Şahit numune ve %5 katkılı çimento numunelerinin çözünmeyen kalıntı değerleri	38
Çizelge 4.6 CEM I Portland Çimento sınıfında %5 katkılı hazırlanan çimento numunelerinin TS EN 197-1:2012 kapsamında komple kimyasal analiz karşılaştırması	40
Çizelge 4.7 CEM II / A-L Portland Kalkerli Çimento sınıfında hazırlanmış olan %10 katkılı numunelerin TS EN 197-1:2012 kapsamında kimyasal analiz karşılaştırması	41
Çizelge 4.8 CEM II / A-L Portland Kalkerli Çimento sınıfında hazırlanmış olan %15 katkılı numunelerin TS EN 197-1:2012 kapsamında kimyasal analiz karşılaştırması	42
Çizelge 4.9 Tüm numunelerin harçlarıyla yapılan kıvam suyu değerleri	43

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Laboratuvar değirmeninde hazırlanan şahit numune (katkısız çimento numunesi)	18
Resim 3.2 Öğütülmüş kalker (kireçtaşı) numunesi	20
Resim 3.3 Öğütülmüş mermer tozu (solda) ve şahit numune (sağda)	21
Resim 3.4 Temizlenip kurutulmuş yumurta kabukları.....	22
Resim 3.5 Yumurta kabuğu tozu.....	23
Resim 3.6 Kırpılmış tavuk tüyleri.....	24
Resim 3.7 Tavuk tüyünün yapısı.....	25
Resim 3.8 Asetonla yıkanan (solda) ve etüvde kurutmaya alınan tavuk tüyleri.....	26
Resim 3.9 Kırpılıp, asetonla yıkandıktan sonra etüvde kurutulmuş tavuk tüyleri.....	26
Resim 3.10 Standart Cen Kumu.....	27
Resim 3.11 Katkı malzemeleriyle hazırlanan katkılı çimento numuneleri	28
Resim 3.12 Panalytical Zetium model X Ray Cihazı	30
Resim 4.1 Elektrik İndüksiyonlu Eritiş Cihazında şahit numuneden hazırlanmış cam eritiş numunesi.....	39
Resim 4.2 Le Chatelier halkasında yapılmış hacim genleşmesi testi (üstte) ve boş halka (altta)	44
Resim 4.3 Vicat aletinde çimento hamurundan priz süresi tayini.....	46
Resim 4.4 TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanmış çimento sınıfları.....	49
Resim 4.5 Astek marka Otomatik Harç Karıştırma Cihazında harç hazırlanırken	50
Resim 4.6 Sarsma cihazında harcın yarısı kalıba yerleştirilirken (solda). Harcın tamamı kalıba yerleştirilip ikinci 60 saniye vuruştan sonra (ortada). Kalıp yüzeyi master ile sıyrılıp harç yüzeyi düzleştirildikten sonra (sağda).....	51
Resim 4.7 Cam plaka ile üzeri kapatılıp, kütleme dolabına yerleştirilen prizma kalıpları (solda). Kalıptan çıkarılan prizma beton numuneleri (sağda)	52
Resim 4.8 Basınç dayanım test cihazında prizmalar kırılıp, basınç dayanımları ölçülürken	52
Resim 4.9 TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanmış çimento dayanım sınıfları .	53

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusunun artmasına paralel olarak tüm doğal kaynakların tüketimi de artmaktadır. Buna bağlı olarak, kaynak ihtiyacı ile birlikte tüketim sonucunda meydana gelen atıklar da hızla artmaktadır. Atıkların yeniden değerlendirilerek kullanılması ise hem daha düşük maliyet, hem de tükenmekte olan kaynakların tasarrufunu sağlamaktadır. Ayrıca çevre kirliliğinin önlenmesiyle birlikte karbon emisyonu ve diğer zararlı gazların emisyonu düşürülerek, karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çok olumlu katkılar da sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, kompozit bir malzeme olan betonda ve betonun en önemli bileşeni olan çimentoda kullanılan geleneksel katkı malzemelerinin yerine, mermer endüstrisinin atık çıktısı olan mermer tozu ile gıda endüstrisinin atık çıktısı olan yumurta kabuklarının katkı malzemesi olarak kullanılması amaçlanmıştır. Ayrıca yine hayvancılık ve gıda sektörünün bir atık çıktısı olan tavuk tüylerinin ise takviye malzemesi olarak bağlayıcı lif (fiber) amacıyla kullanılması incelenecektir.

Kapsamın geniş tutulabilmesi için tüm çalışma boyunca referans katkı olarak kalker (kireç taşı) kullanılacaktır. Çimentoda kalker katkısı, TS EN 197-1:2012 Standardında çimento katkısı olarak tanımlanmış olup, yıllardır tüm fabrikalar tarafından çimento üretimi esnasında sorunsuz bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Dinçer Çimento ve Beton San. Tic. A.Ş. Fabrikasının hammadde ocağından elde edilerek çimento katkısı olarak kullanılan saf kalker (kireç taşı) kullanılmıştır.

“Mermer (doğal taş) ocaklarından çıkarılan mermer blokları, mermer kesim fabrikalarında elmas testereli kesicilerle kesilirken, micron mertebelerinde ince boyutlara ulaşabilen mermer tozu açığa çıkmaktadır. Türkiye’de yıllık olarak ortaya çıkan ve depolama alanlarında toplanan atık mermer tozu miktarı yaklaşık olarak 650 bin tondur” (Cömert 2012). Son yıllarda artan üretim kapasitesiyle birlikte artan mermer tozu stoğunun standartlara uygun bir şekilde çimento katkısı olarak kullanılması amacıyla yıllardır çok fazla akademik çalışma ve endüstriyel denemeler yapılmıştır. Bu çalışma ve denemelerin birçoğu olumlu sonuçlar vermiş olup, endüstriyel ölçekli kullanımına genellikle yüksek rutubet içeriği ile nakliye maliyetleri engel olmuştur. Mermer tozunun

bu çalışmada kullanılmasının amacı, katkı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesinden ziyade, elde edilmiş kaynağı bakımından kalkerin yanında ikinci bir referans olarak ele alınmasıdır. Öyle ki mermer tozu kimyasal bileşim açısından kalker (kireç taşı) gibi çok yüksek CaCO_3 (Kalsiyum Karbonat) içeriğine sahiptir. Çalışmada kullanılacak mermer tozu, Afyon bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer fabrikasının elmas kesici tozlarının stoklandığı atık stok sahasından alınmıştır.

Ülkemizde 2022 yılında 19,8 milyar adet yumurta üretimi gerçekleşmiştir (TÜİK 2023). Tavuğun cinsi ve yaşına göre değişmekle birlikte bir yumurtadan, rutubeti ve zarı alınmış halde ortalama 6,8 gram ağırlığında yumurta kabuğu ortaya çıkmaktadır. Buna göre yıllık 135 bin ton civarında yumurta kabuğu çöpe atılmakta veya çok az bir kısmı değerlendirilebilmektedir. Yüksek miktarda CaCO_3 içerikli olan yumurta kabukları, toz hale getirilerek çimento içerisinde standart ve geleneksel katkıların yerine kullanılarak betondaki etkileri incelenecektir. Çalışmada kullanılacak olan yumurta kabukları, yemekhanelerde pişirilen yumurtalı yemekler ve omletlerden sonra ortaya çıkan tavuk yumurtalarının kabukları alındıktan sonra, taze haldeyken sıcak suyla yıkanıp iç zarlarından, yağ ve protein kalıntılarından arındırılarak elde edilmiştir. Çalışmada, mineralojik yapısının değişme ihtimalinden dolayı haşlanmış yumurta kabukları kullanılmamıştır.

Yine ülkemizde 2022 yılında 1,35 milyar adet tavuk kesimi yapılmış olup (TÜİK 2023), her bir tavuktan çıkan tüy miktarı, temizlenmiş ve kurutulmuş halde ortalama 55 gramdır. Buna göre yıllık toplam 74 bin ton civarında tavuk tüyünün büyük bir çoğunluğu değerlendirilememektedir. Bu çalışmada tavuk tüyleri çimento harcı içinde bağlayıcı lif (fiber) görevi yapması amacıyla takviye malzemesi olarak kullanılarak, yumurta kabuğu tozu ile birlikte beton basınç dayanımındaki göreceli etkileri incelenecektir. Çalışmada kullanılacak tavuk tüyleri yerel tavuk üreticilerinin kümeslerinden karışık halde toplandıktan sonra gerekli temizleme işlemleri yapılmıştır. Tavuk tüyleri hakkındaki bazı teknik bilgiler, Antalya'da faaliyet gösteren ve geçmişte tavuk ürünleri üretimi yapmış olan Bahar Hindi Entegre A.Ş. fabrikasından alınmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kalker (Kireç Taşı) Katkılı Çimento

Çimentoda kalker (kireç taşı) katkısı, geçmişte yapılan çalışmalara göre düzenlenmiş olan TS EN 197-1:2012 Standardında tarif edildiği şekilde kullanılarak yıllardır sorunsuz bir şekilde çimento ve beton üretilmektedir. İlgili standartta belirlenmiş şartlara uyan kalker, başta CEM I 42,5 sınıfı olmak üzere tüm çimento tiplerinde %5 oranına kadar kullanılabilir. Ayrıca Portland Kalkerli Çimento (CEM II / A-L 42,5 ve CEM II / A-L 32,5) sınıfı çimentolarda %20 oranına kadar, Portland Kompoze Çimento (CEM II/ B-L 42,5 ve CEM II / B-L 32,5) sınıfı çimentolarda ise %35 oranına kadar kullanılabilir.

“Portland Çimentosunun bir bileşeni olarak kireç taşının kullanımı artık dünya çapında yaygın bir uygulamadır. Kireçtaşı katkıları ile çimentoda klinker miktarının azaltılması, doğal kaynakları korumanın, enerji tasarrufu sağlamanın ve karbondioksit emisyonlarını düşürmenin oldukça verimli bir yolu olarak kabul edilmektedir” (Shaker vd. 2018). “Portland Kireçtaşı Çimentoları (PLC’ler) yakın zamanda ASTM C595/AASHTO M240 spesifikasyonlarının bir parçası olarak onaylanmıştır. Bu çimentolar, klinkerin %15’e kadarını öğütülmüş kireçtaşı parçacıklarıyla değiştirerek daha sürdürülebilir beton üretimi sağlamak için tasarlanmıştır. PLC’ler, inşa edilmiş altyapıda bulunan karbondioksiti azaltmak ve kireç taşı ocaklarının ömrünü uzatmak için potansiyel bir yöntemi temsil eder” (Barrett vd. 2014). “Daha dayanıklı beton elde etmek ve beton malzemelerinin üretimiyle ilişkili olarak daha az karbondioksit (CO₂) emisyonu elde etmek için inşaat endüstrisinde çimentoya ikame malzemeleri olarak ek çimento katkı malzemelerinin (SCM’ler) kullanılması yaygın bir uygulamadır. İnce öğütülmüş kireçtaşı dolgu maddesinin (LF) çimento ikame malzemesi olarak kullanımı da, kısmen bazı coğrafi bölgelerde çimento katkı malzemelerinin (SCM’lerin) sınırlı mevcudiyeti nedeniyle, geniş çapta düşünülen bir seçenek haline gelmektedir” (Panesar ve Zhang 2020).

Moir ve Kelham (1999), Portland Kireçtaşı Çimentolarının kısa vadeli performans özelliklerini (sertleşme, beton çökmesi, dayanım gelişimi ve hidratasyon ısısı), Portland

Çimentosu, uçucu kül ve Puzolanik Çimentoların özellikleriyle karşılaştırmıştır. Portland Kireçtaşı Çimentolarının erken aktivitesi, ilk priz süresi, erken dayanım ve erken ısı salımı ile gösterildiği gibi, genellikle diğer çimento türlerinden daha yüksektir. Bununla birlikte nihai dayanımlar, nemli kürlenme koşullarının muhafaza edilmesi koşuluyla daha düşüktür. Beton karbonatlaşma hızı, donma-çözülme direnci, sülfat direnci ve klorür penetrasyonu gibi uzun dönem performans özellikleri de karşılaştırılmıştır. Genel olarak %25'e kadar kireçtaşı içeren çimentoların performansı tatmin ediciydi ve dört farklı kaynaktan alınan Portland çimentolarının performans aralığı içindeydi. Portland Kireçtaşı Çimentolarının etkin kullanımı, uygun çimento ve beton standartlarının yürürlükte olmasına bağlıdır. Avrupa ülkeleri bunu büyük ölçüde başarmıştır ve Portland Kireçtaşı Çimento üretimi ve kullanımının ekonomik ve çevresel avantajlarını elde etmek için iyi bir konumdadır.

Hossack vd. (2014) aynı tesiste aynı klinkerden üretilen Portland Kireçtaşı Çimentosu (PLC) ve Portland Çimentosu (PC) ile karışımlardan inşa edilen beton kaplamaların test sonuçlarını sunmaktadır. Kanada'daki agresif iklimlerde 3 ile 4 yıl hizmet verdikten sonra bu kaplamaların performanslarını değerlendirerek, test sonuçları, basınç dayanımı, karbonatlaşma derinliği, klorür geçirgenliği ve görünür klorür difüzyonu değerlerini karşılaştırmıştır.

Sezer (2007), klinker ve kalker tipinin, kalker miktarının, alçı miktarının, çimento inceliğinin ve üretim yöntemlerinin kalkerli çimentoları özellikleri olan etkisini araştırmıştır. Deneylerde iki tip kalker ve iki tip klinker kullanarak, farklı öğütme yöntemleri ve farklı katkı oranlarında çimentolar hazırlamıştır. Bu numunelerde mikro yapı incelemeleri yapılarak, sülfat dirençleri için genleşme ve tomasit oluşumları incelenmiş ve basınç dayanım ölçümleri yapılmıştır.

2.2 Mermer Tozunun Katkı Olarak Kullanımı

“Son zamanlarda yüksek dayanımlı betona olan talebin artmasıyla birlikte daha yüksek çimento içeriği kullanılmakta ve bu da çimento ihtiyacını artırmaktadır. Çimento endüstrisi dünyadaki en fazla enerji tüketen sektörlerden biridir ve küresel karbondioksitin (CO₂), gaz emisyonları ve küresel ısınmanın %10'una katkıda bulunur.

Benzer şekilde hızlı kentleşme ve sanayileşme ile birlikte çok sayıda yan ürün ve atık madde bol miktarda üretilmekte, bu da çevre ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır” (Rid vd. 2022). “İnşaat sektörü çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olan sektörlerin başında gelmektedir. Çimento üretimi, büyük miktarlarda elektrik, ısı ve yakıt ihtiyacı ile gürültü, karbondioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO₂) ve karbon monoksit (CO) yayılımı gerektirir. Nehir veya okyanus yatağından ve büyük açık kum ocaklarından kum çıkarılması, suda yaşayan hayvanların ve mikroorganizmaların yaşam alanlarını bozarak çevrenin fiziksel olarak tahribatına yol açar. Çeşitli yan ürünlerin çevreye atılmasını azaltmak için çimento ve kumun yerini alacak farklı sürdürülebilir malzemelerin faydaları araştırılmıştır. Mermer tozu çeşitli kirliliğe neden olan bu tür ürünlerden biridir” (Oza vd. 2022). “Somutlaşmış CO₂ emisyonlarını azaltma ve mevcut doğal kaynakların kullanımını azaltma konusundaki taahhütler, daha sürdürülebilir yaklaşımlar üretmesi için beton sektörü üzerinde baskı oluşturuyor. Atık malzemeler beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık malzemelerin beton özellikleri üzerindeki uygulanabilirliği ve pratikliği, esas olarak taze ve sertleşmiş özelliklerle ilişkilidir. Atık malzemelerin kullanımı ancak çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin başarılı bir şekilde karşılanması koşuluyla mümkün olabilir” (Bostancı 2019).

Yamanel (2015), mermer tozu içeren harçların dayanım ve dayanıklılık özelliklerini araştırmıştır. Tüm karışımlar için kum-bağlayıcı malzeme oranını 3,0 ve su-bağlayıcı malzeme oranını 0,5 olarak seçmiştir. Çimento yerine mermer tozunu ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarda ikame etmiştir. Harç numunelerinden işlenebilirlik, su emme oranı, boşlukluluk oranı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma, karbonatlaşma, yangın, donma çözölmeye dayanıklılık ve kurutma rötresi deneylerini yapmıştır. Mermer tozunun %5 oranında çimento yer değiştirmesi ile elde ettiği harçların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin, Portland çimentolu harçların özelliklerine eşit olduğunu görmüştür. Deney sonuçlarında mermer tozu katkısının %10 ikame oranına kadar normal harçlarda mineral katkı olarak kullanılabileceğini belirlemiştir.

Yıldız (2012), su/çimento oranı 0,63 olan 300 ve 350 dozlu, 5, 10, 15, 20 kg/m³ oranlarında cam elyaf içeren ve hacimce ince malzemeler ile yer değiştirmek suretiyle, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında atık mermer tozu ilavesiyle imal edilmiş beton

numuneleri hazırlamıştır. Bu numunelerin birtakım testleri ile birlikte basınç ve yarmada çekme dayanımlarına bakmıştır. Çalışma sonucunda cam lif içeriğinin artması ile numunelerin basınç dayanımlarında düşüşler görmüştür. Ancak yarmada çekme dayanımları 15 kg/m³ cam lif oranlarına kadar artış gösterirken 20 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Fakat bu azalmaya rağmen kontrol numunesinden daha yüksek bir yarmada çekme dayanımı sağlamıştır. Mermer tozu ilavesinin cam lifin oluşturduğu tüm olumsuz etkileri iyileştirdiğini gözlemlemiştir. Özellikle %75 oranında mermer tozu ilaveli betonlarda ortalama %21,87'lik bir artış gerçekleştiğini gözlemlemiştir.

Mawlawizada (2020), beton karışımında atık mermer tozu kullanarak çevre dostu bir beton türü üretilip, üretilen bu betonun tahribatlı ve tahribatsız test metodları ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini, taze ve sertleşmiş beton üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Atık mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonların karışım hesabında kullanılan atık mermer tozu miktarı, hacimce toplam karışım, %0, %2 ve %4'ü şeklinde aynı zamanda iri ve ince agrega yerinde yer değiştirerek kullanmıştır. Bu çalışmada üretilen betonların çimento dozajı 350 kg/m³ ve 425 kg/m³ şeklinde ve agrega granülometrisi ise üç farklı (%65 ince - %35 iri), (%55 ince - %45 iri), (%45 ince - %55 iri) şeklinde kullanmıştır. Buna göre işlenebilirlik ve dayanım üzerine en etkili parametrelerin belirlenmesini hedeflemiştir. Üretilen çevre dostu betonların, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini tespit etmiştir. Çalışmayı mermer tozu oranı ve agrega granülometri etkisine göre değerlendirmiştir. Sonuç olarak, atık mermer tozunun beton karışımında kullanılarak çevre dostu beton üretilmesinin mümkün olduğunu, çevre kirliliğini azalttığını, insan sağlığına ve doğaya fayda sağladığını, aynı zamanda kaynakların az tüketilmesi ile ekonomiye katkıda bulunacağını göstermiştir.

Doğan (2018), mermer tozunun uçucu kül ile birlikte harçlarda kullanımını araştırmış ve bu malzemelerin harcın mekanik özelliklerine etkisini belirlemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. İnce agreganın, sırasıyla mermer tozu, uçucu kül ve hem mermer tozu hem uçucu kül ile ikame edildiği toplam 27 harç karışımını CEM I 42,5 R tipi Portland çimento ile birlikte hazırlamıştır. Sabit (0,58) su/çimento oranı ile hazırlanan işlenebilirlik için süper akışkanlaştırıcı ile dengelenen numunelere 7 gün ve 28 günlük

eğilme ve basınç deneyleri uygulamıştır. Standart kumun mermer tozu ile ikamesinde %5 mermer tozu ikamesinin optimum eğilme ve basınç mukavemeti sağladığını tespit etmiştir. %15 mermer tozu ile %15 uçucu kül kullanımının harçların mekanik özelliklerini geliştirdiğini belirlemiştir.

Aruntaş vd. (2010), atık mermer tozunun katkı maddesi olarak katkılı çimentoda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla ağırlıkça %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 olmak üzere farklı karışım oranlarında mermer tozu ile Portland çimento klinkeri karıştırılarak atık mermer tozu katkılı çimentolar elde etmiştir. Elde edilen çimentolar ile 40x40x160 mm boyutlarında harç prizmaları üretmiştir. Harç numunesi üzerinde 7 gün, 28 gün ve 90 günde mukavemet testleri yapmıştır. Mermer tozu katkılı çimentolar fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından birbirleriyle ve CEM I ve CEM II kontrol çimentoları ile karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, mermer tozu katkılı çimentoların TS EN 197-1:2012 standardına uygun olduğunu ve bu nedenle %10 mermer tozunun çimento imalatında katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Selim vd. (2020), sertleştirilmiş Portland çimentosu hamurlarının mekanik, mikro yapı ve asit direnci özelliklerini yükseltme amacıyla mermer tozu ve ince kaolinit kumu gibi düşük maliyetli katı atıkları uygulamıştır. Portland çimentosu ile birlikte çeşitli mermer tozu ve ince kaolinit kumu karışımları uyarlayarak, hidrasyon için 90 gün kürlemiştir. Üretilen numunelerin fizikokimyasal ve mekanik özellikleri farklı hidrasyon sürelerinde (1, 3, 7, 28 ve 90 gün) basınç dayanımı değerleri ve su emme yüzdelerini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Portland çimentonun %20'ye kadar mermer tozu ile kısmen ikame edilmiş numunelerin basınç dayanımlarını artırdığını kabul etmiştir.

Chandrakar ve Singh (2017), endüstriyel atık olarak doğaya terk edilmiş mermer tozunu ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında çimentoya ikame ederek M-20 tip beton karışımları hazırlamıştır. 7 gün ve 28 günlük kürleme sonrasında küpleri test etmiştir. %10 mermer tozu içeren numunenin hem 7 günlük hem de 28 günlük kürlemede maksimum dayanımı verdiğini görmüştür. Ayrıca araştırmaları sonucunda mermer tozunun her mevsimde mevcut olduğunu, temin edilebilecek fazla miktarda işletme

olduğunu ve çimento ile karıştırıldığında çok daha uygun maliyetli betonlar üretilebileceğini de tespit etmiştir.

Shah ve Bisnoi (2015), önceki çalışmalarında mermer tozunun ince agreganın yerine kullanımını araştırmış olsa da, tane boyutu dağılımı çimentoya daha yakın olduğundan, klinker yerine kullanılmasının daha uygun olacağını düşünmüştür. Mermer tozundaki birincil molekül, kireçtaşı ile aynı olan kalsiyum karbonat olduğundan, bu çalışmada mermer tozunun ezilmiş kireçtaşına benzer şekillerde olası kullanımına bakmıştır. Alümino-silikat kaynakları olarak uçucu kül ve kalsine killer içeren veya içermeyen sıradan Portland çimentosu mermer tozu karışımlarını laboratuvarında hazırlayarak testler yapmıştır. Bu karışımlarda alçıtaşı ve sodyum sülfat gibi aktivatörlerin rollerini de incelemiştir.

Vardhan vd. (2015), atık mermer tozunun kısmen çimento yerine kullanma olasılığını araştırmıştır. Kısmen çimentonun mermer tozu ile yer değiştirmesi ile elde edilen çimento hamurlarının priz alma davranışı, sağlamlık ve akışkanlık özelliklerini incelemiştir. Bununla birlikte mermer tozu ile modifiye edilmiş çimentonun dayanım gelişimin ve mikro yapısal özelliklerini de inceleyerek, karışımlar üzerinde XRD analizi de yapmıştır. Çalışmanın sonuçları, karışımın teknik özelliklerinden ödün vermeden çimento yerine %10'a kadar mermer tozunun kullanılabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte büyük seviyelerde yer değiştirme, karışımın ve mikro gözenekli yapının gecikmeli hidrasyonuna yol açtığını görmüştür.

Kaur ve Bansal (2015), mermer tozu ve metakaolin ile birlikte yaptığı bir çalışmada, mermer tozu katkısını %0 ve %10 sabit tuttuğu numunelerde, %0, %3, %5, %9, %12 ve %13, oranlarında metakaolin ilavesiyle numuneler hazırlamıştır. Mermer tozu – metakaolin ile yapılan betonların çekme dayanımları ve dayanıklılıklarını M30 sınıfındaki geleneksel betonla karşılaştırmıştır. Mermer tozu ve metakaolin eklenmesiyle birlikte bir dayanım kazanımı olduğunu görmüştür. Hem basınç hem yarıлма dayanımının optimum olduğu numunenin %10 mermer tozu ve %9 metakaolin eklenmiş numune olduğunu tespit etmiştir.

Corinaldesi vd. (2010), mermer kesme ve şekillendirme yan ürünü olarak elde edilen mermer tozunu, harçlar ve betonlar ile özellikle kendiliğinden yerleşen betonlar için mineral katkı olarak kullanmak amacıyla kimyasal ve fiziksel açıdan karakterize etmiştir. Bu mermer tozu, taneciklerinin %90'ı 50 μm 'den daha ince ve %50'si 7 μm 'nin altında olmak üzere yaklaşık 1500 m^2/kg gibi çok yüksek bir Blaine incelik değerine sahiptir. Reolojik çalışmalar için, mermer tozu kullanarak, akrilik bazlı bir süper akışkanlaştırıcı eklenmiş ve eklenmemiş birkaç çimento pastası hazırlamıştır. Mermer tozunun mekanik davranış üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, tümü yaklaşık olarak aynı işlenebilirlikte 3:1 kum/çimento oranıyla hazırladığı birçok farklı harç karışımını test etti. Karışımları, mermer tozunun çimento veya kum ikamesine göre değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, mermer tozunun %10 kum ikamesi ile yaklaşık aynı işlenebilirlikte maksimum basınç dayanımı sağladığını göstermiştir.

Sharma vd. (2020), çimento endüstrisinde CO_2 üretimini azaltmak veya ortadan kaldırarak çimento ve beton geliştirmek için, atık ürünler kullanmıştır. Bu nedenle çimentonun yerine %5,0, %7,5, %10,0, %12,5, %15,0 ve %20,0 gibi farklı oranlarda mermer tozu, tuğla tozu ve seramik tozu gibi çeşitli atık malzemeler koyarak numuneler hazırlamıştır. Çimento yerine mermer tozu, tuğla tozu ve seramik tozu içeren betonun mekanik özelliklerini bilmek için basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı yapmıştır. Testler, numunelerin 7 gün, 28 gün ve 56 gün süreyle kürlenmesinden sonra gerçekleştirilmiştir. Tüm kür günleri için basınç dayanımı testi ve ayrıık çekme dayanımı durumunda mermer tozu, tuğla tozu ve seramik tozu için sırasıyla en iyi değiştirme (ikame katkı) oranlarının %10,0, %12,5 ve %7,5 olduğunu görmüştür. Ancak seramik tozunun geleneksel betona kıyasla basınç dayanım artışında uzun vadeli bir etki gösteremediğı ortaya çıkmıştır.

2.3 Yumurta Kabuğunun Katkı Olarak Kullanımı

“Altyapı gelişimin hızlı büyümesiyle birlikte inşaat malzemelerine olan talep de artmıştır. Çimento, dünya çapında yaygın olarak kullanılan malzemelerden biridir. Çimento üretiminde yenilenemez kaynakların kullanılması CO_2 emisyonları ve önemli çevresel sorunlar yaratmıştır. Atık malzemelerin kısmen veya tamamen çimento yerine kullanılması mevcut pratik çözümlerden biridir. Yumurta kabuğu, restoranlardan,

fırınlardan ve evlerden elde edilebilen bir atık maddedir. Yumurta kabuğunun etkili kullanımları bulunursa, sürdürülebilir çözüm için bir fırsat yaratacaktır” (Sathiparan 2021). “Yapısal betondaki karbondioksit içeriğini azaltmak için sıradan Portland çimentosu kısmen yumurta kabuğu tozu ile değiştirilebilir. Yumurta kabuğu tozu kullanımının betonun mukavemetini artırdığı gibi dayanıklılığını da bir ölçüde artırdığına inanılmaktadır. Yumurta kabuğu, kümes hayvanı endüstrisinden geliştirilen mürif bir malzemedir, ancak bu kabuklar kireç açısından zengindir. Öte yandan, yumurta kabuğu tozunun kullanılması, kirliliğe ve diğer çevresel zararlı etkilere neden olan kümes hayvanı atıklarının bertaraf edilmesini kolaylaştırır” (Langhah ve Saand, 2020).

Grzeszczyk vd. (2022), çimento kireçtaşı yerine eklenen toz haline getirilmiş tavuk yumurtası kabuğunun çimento özelliklerine etkisi üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır. Portland çimentosuna (CEM I 42,5 R) ağırlıkça %10, %20 ve %30 toz yumurta kabuğu ilave ederek mineralojik, kimyasal ve mekanik testlere tabi tutmuştur. Yumurta kabuğu katkılarının varlığında çimento hamurunun hidrasyonunun gecikmesi ve harcın dayanım parametrelerinin biraz daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Bu etkiyi, karışımda proteinler de dahil olmak üzere organik maddelerden oluşan kabuk zarının varlığı ile açıklamıştır.

Arif vd. (2020), yüksek dayanımlı beton için çimento ikamesi olarak yumurta kabuğunun optimum yüzdesinin araştırılmasını amaçlamış ve yüksek dayanımlı beton üzerindeki etkisi, işlenebilirlik, basınç dayanımı ve geri tepme çekici testi ile ultrasonic darbe hızı açısından incelemiştir. Yumurta kabuğu tozu ile %0, %5, %10 ve %15 ikame ile dört çeşit yüksek dayanımlı beton karışımı hazırlamıştır. Deney sonuçlarına göre, taze beton karışımlarının işlenebilirliği, yumurta kabuğu ikame yüzdesi arttıkça azalmaktadır. %10 yumurta kabuğu içeren karışım 28 günde 68,4 MPa ile en yüksek basınç dayanımına ulaşarak, kontrol betonundan daha yüksek basınç dayanımı sergilediği için inşaat malzemesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

Azmi vd. (2022), yumurta kabuğu tozu ile betonun işlenebilirliğini incelemek ve yumurta kabuğu tozunun betonda yoğunluk ve basınç dayanımı gelişimine etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda bağımlılık yapıcı bir beton karışımı olan yumurta kabuğu

tozu katkılı betonun basınç dayanımı araştırmak amacıyla çimento kısmen %5, %10 ve %15 oranlarında yumurta kabuğu tozu ile değiştirilmiştir. Numuneleri, ikamesiz çimento ile yumurta kabuğu tozu ikame yüzdelere göre dört tipe ayırarak beton karışımı hazırlamış ve farklı standartlara göre basınç dayanımı testlerini yapmıştır. Portland çimentoya ikame edilen yumurta kabuğu tozunun, betonun basınç dayanımını düşürdüğünü görmüştür.

Li vd. (2021), mikro boyutlu yumurta kabuğu tozunu, kısmen çimentonun yerini alacak çimentolu bir tamamlayıcı malzeme olarak kullanmıştır. Dört çimento numunesinde %2,5, %5,0, %7,5 ve %10,0 ikame yüzdelinde ayarlamıştır. Yaptığı testler sonucunda, 0,4 mikron mikro boyutlu yumurta kabuğu tozunun harcın işlenebilirliğini, mekanik özelliklerini iyileştirebileceği gibi betonun durabilitesini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. %5 çimento ikamesinin yumurta kabuğu tozu ile değiştirilmesi, hem basınç dayanımı hem de eğilme dayanımı için optimum yüzde olduğunu görmüştür. Mekanik özelliklere dayanarak, yumurta kabuğunun çimentonun yerini alacak potansiyel bir alternatif malzeme olduğunu açıklamıştır.

İshak ve Zamani (2019), 90 micron boyuta kadar öğüttüğü yumurta kabuklarını Portland çimentosuna %10-30 aralığında ikame ederek mekanik özelliklerini tespit etmek üzere dört farklı parti hazırlamıştır. Yumurta kabuğu tozu miktarı arttıkça işlenebilirliğin %30-70 aralığında azaldığını, tahribatlı test sonuçlarının ise %13-48 aralığında azaldığını tespit etmiştir. Sonuç olarak yumurta kabuğu tozunun, yüksek mukavemetli beton gerektiren projeler için uygun olmadığını, ancak daha düşük mukavemetli beton gerektiren projeler için uygun olabileceğini bildirmiştir.

Tan vd. (2018), sıradan Portland çimentosu yerine hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilave etmiştir. Sonuçta, suyla kürlenmiş yumurta kabuğu betonunun basınç ve eğilme dayanımlarını %51,1 ile %57,8 aralığında büyük ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Yumurta kabuğu tozu mevcut boşlukları doldurarak daha geçirimsiz hale getirdiğinden, yumurta kabuğu betonunun su emme oranı yaklaşık %50 azalmıştır. Fakat yumurta kabuğu, asit ve alkali çözeltilerle kolayca reaksiyona giren yüksek miktarda kalsiyum içerdiği için asit ve alkali çözeltilere daldırma sırasında

yumurta kabuğu tozu miktarı arttıkça, yumurta kabuğu betonunun basınç dayanımı giderek azalmaktadır. Yumurta kabuğu içeriği arttıkça, çözeltilerin harçla reaksiyona girdiğini, böylece mukavemetin düştüğünü açıklamıştır.

Gabol vd. (2019), yumurta kabuğu tozu ile yaptığı bir çalışmada, çimento yerine ağırlıkça % (0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0) farklı oranlarda ikame ederek, silindir ve kübik toplam 120 adet beton numunesi dökerek, 3 gün, 7 gün ve 28 gün süreyle kürlemiştir. Test sonuçlarında %7,5 yumurta kabuğu tozu ikameli numunenin çekme mukavemeti %9,6, basma mukavemeti ise %8,0 arttığını görmüştür. Fakat yumurta kabuğu tozu miktarı arttıkça betonun işlenebilirliğinin azaldığını gözlemlemiştir

Nandhini ve Karthikeyan (2022), toz hale getirilmiş yumurta kabuğunun, çimentonun kısmi ikamesi olarak uygunluğunu araştırmıştır. Yumurta kabuğu tozunu çimento kısmen ağırlığına göre %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ikame etmiştir. Yapmış olduğu testler sonucunda, harçta kullanılan %10 yumurta kabuğu tozunun optimum basınç dayanımı sağladığını görmüştür. Mikro yapı araştırmalarında ise %10 ikame edilen yumurta kabuğu tozunun yine iyi bir güç sağladığını açıkça kanıtlamıştır. Wasudevan ve Wei (2020), benzer şekilde yaptığı bir çalışmada, sıradan Portland çimentosu yerine hacimce %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere çeşitli miktarlarda yumurta kabuğu ilave etmiştir. Test sonuçlarında yumurta kabuğu ilavesinin betonun basınç ve eğilme dayanımını büyük ölçüde iyileştirdiğini görmüştür. Yumurta kabuğu tozu mevcut boşlukları doldurduğu için yumurta kabuğu betonunun su emme oranı düşerek daha geçirimsiz hale gelmiştir. Fakat yumurta kabuğu tozu miktarı arttıkça yumurta kabuğu betonunun basınç dayanımı giderek azalmıştır. Kısmi çimento ikamesi olarak kurutulmuş yumurta kabuğu tozunun optimum ikame yüzdesinin %15 olduğu sonucuna varmıştır. Aynı şekilde Jhatial vd. (2019), birlikte yaptıkları bir çalışmada yumurta kabuğu tozunun iki ayrı incelikteki (50 µm ve 100 µm) numunesinden aynı ikame oranlarında M40 sınıfı beton numuneleri hazırlamıştır. Her iki incelik değerindeki yumurta kabuğuyla %10 ikameli hazırlanan numuneler en yüksek basınç dayanımına ulaşmış olup, 50 µm incelikteki yumurta kabuğu tozuyla hazırlanan numune diğerinden daha yüksek basınç dayanımına ulaşmıştır.

Hordofa (2019), sıradan Portland çimentoya %3, %7 ve %11 oranlarında yumurta kabuğu tozu ikamesiyle C35 sınıfı beton karışımları tasarlayarak, yumurta kabuğu tozu eklenmemiş bir referans numune de hazırlamıştır. Hazırlamış olduğu harç karışımlarını 7 gün ve 28 gün kürledikten sonra basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımı testlerini uygulamıştır. Test sonuçlarına göre basınç dayanımı ve çekme dayanımı, Portland çimentoya %7 ikameli numuneye kadar yükselmiş fakat %7 üzerinde her iki dayanımda düşüş başlamıştır. Buna rağmen yumurta kabuğu tozu ikamesi arttıkça eğilme dayanımının artmaya devam ettiğini, en iyi dayanım değerinin %11 ikameli numunelerde gerçekleştiğini izlemiştir. Yumurta kabuğu tozunun çimentoya daha yüksek ikamesi oranlarında bile betonun performansında hafif bir azalma ile kullanılabileceğini, buna rağmen iyi beton özelliklerinin korunabileceğini bildirmiştir.

2.3.1 Tavuk Tüyünün Takviye Elemanı Olarak Kullanılması

“Tavuk tüylerinden elde edilen malzemeler, kompozit yapı malzemesi uygulamalarında avantajlı bir şekilde kullanılabilir. Bu tür uygulamalar, ABD kümes hayvancılığı endüstrisinin bir yan ürünü olarak her yıl üretilen 5 milyar pound tüyü potansiyel olarak tüketebilir. Tüy numuneleri ile işlenmiş tavuk tüyü lifinin %16-20 aralığında benzer nem içeriklerine sahip oldukları görülmüştür. Elyaf malzemelerin tüy malzemeye göre daha büyük bir en boy oranına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca tüy numunelerinin görünür özgül ağırlıklarının 0,7 – 1,2 aralığında olduğu ve fiber malzemenin tüy malzemedan daha yüksek bir özgül ağırlığa sahip olduğu bulunmuştur” (Kock, 2006). “İnşaat sektöründe tüyler başta olmak üzere geri dönüştürülen atıklar, çevre kirliliğini azaltmak için bedava bir kaynak olarak kabul edilir. Atık tavuk tüylerinin belirli oranlarda faz değiştiren malzemelerle entegrasyonu, inşaat sektöründe yeni bir yalıtım malzemesi olarak faz değiştiren malzemelerin ısı özelliklerinin artırılmasına katkı sağlamaktadır” (Abdulmunem vd. 2022).

Mendoza vd. (2021), atık tavuk tüylerinden elde edilen keratin liflerinin Tip I Portland Çimentosunun hidrasyon özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Farklı miktarlarda keratin liflerinin çimentonun priz süresi, ısı ve spektral özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Değiştirilmemiş kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında,

çimento kütlesinde keratin lifleri içeren çimento karışımlarının başlangıç ve son priz süreleri sırasıyla %46 ve %54 artmıştır. Termal ve kızılötesi spektroskopik analiz, keratin liflerinin hidrasyon bölgelerini tıkayabileceğini ve çimento kristalleşmesini önleyerek çimento kürünü engelleyebileceğini göstermiştir.

Manginsay vd. (2015), tavuk tüylerinin beton için ince agrega yerine kullanılabilirliğini belirlemeyi amaçlayan deneysel bir araştırma yapmıştır. Daha önce yapılan araştırmalar, atık tavuk tüylerinin yapısındaki kapsamlı çapraz bağlanma ve güçlü kovalent bağ nedeniyle bozulmaya karşı iyi bir dayanıklılığa ve dirence sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yaptığı bu çalışmada, ince agregaların toplam hacminin %5 ila %50'si arasında değişen oranlarda tavuk tüyü eklemiştir. Agrega-çimento oranı 1:16 olup, her karışımda değişen su-çimento oranında çimento miktarını sabit tutarak hazırladığı numuneleri 7, 14 ve 28 gün kürlemiştir. Sonuçta, numunelerin basınç dayanımlarının, eklenen tavuk tüylerinin miktarıyla ters orantılı olduğunu görmüştür. %5 tavuk tüylü numune 28 günde 12,61 MPa bir basınç dayanımı vermiştir. Bu değer, donatısız ve güçlendirilmiş ünite yapılarının yapımında kullanılan harçları kapsayan ASTM C270-91 Standart spesifikasyonunun Tip S harç çimentosu şartlarını karşıladığını görmüştür. Geri kalan numunelerin basınç dayanımları ise sırasıyla 5,2 ve 2,4 MPa olup, ASTM C270-91 Standardının N ve O tipi harç çimentosunun minimum basınç dayanım şartını karşıladığını görmüştür.

Borazan ve Gökdağ (2017), kompozit malzemelerin imalatına odaklanarak yaptığı çalışmada, atık mermer tozu ve atık tavuk tüylerinden geri kazanılan liflerle güçlendirilmiş polyester esaslı kompozit malzemeler üretmiştir. Hızlandırıcı olarak %1 kobalt, sertleştirici olarak ButanoxAkzo M60 ve pigment kaynağı olarak poli pigment 27 koyu kahverengi kullanmıştır. Eğilme dayanımını belirlemek için kompozit malzemelerin eğilme özellikleri, eğilme modülü ve sertliğin yanı sıra yoğunluk ve su emme gibi bazı fiziksel özellikleri araştırmıştır. Sonuç olarak, % ağırlıkça 30:70 karışım oranı tavuk tüyü lifi / mermer tozu olan numuneden polimer kompozit üretimi için yüksek değerler tespit etmiştir.

Ali vd. (2021), yaptıkları bir araştırmada, el yatırma tekniği ile kompozit hazırlamak için takviye maddesi olarak tavuk tüylerini ve matris malzemesi olarak sentetik polimer olan doymamış polyester reçine kullanmışlardır. Mekanik özelliklerin geliştirilmesi için matrise belirli oranlarda (ağırlıkça %2, %5, %7, %10, %12 ve %15) atık tavuk tüyü ilave edilmiştir. Mekanik testler sonucunda %5 ve %10 tavuk tüyü lifi yüklü kompozitlerin gerilme mukavemeti, gerilme modülü, kopmada uzama yüzdesi, eğilme mukavemeti ve eğilme modülü değerlerinde en iyi sonuçları verdiği ortaya çıkmıştır.

Acda (2010), yapmış olduğu bir çalışmada atık tavuk tüyünün çimento bazlı kompozitlerde takviye olarak kullanımını araştırmıştır. Çeşitli oranlardan oluşan atık tüy, çimento, kum ve kimyasal katkıları ile bir dizi kompozit levha hazırlamıştır. Karışımında atık tüylerin ağırlıkça %5'ten %20'ye oranı arttıkça işlenebilirlik önemli ölçüde azalmıştır. Ağırlıkça %5 ila %10 lif ve atık tüy içeren levhalar, ticari ahşap fiber-çimento kompozitleriyle güç, boyutsal kararlılık, yoğunluk ve kalınlık da benzerlik göstermiş olup, atık tüyü oranı %10'un üzerine çıktıkça azalmıştır. Bununla birlikte daha yüksek atık tüy oranları, 24 saat suda bekletildikten sonra esneklik modülünde ve gerilme modülünde önemli bir azalma ve artan su emilimi ile şişme göstermiştir.

Sutarno vd. (2021), bir çalışma ile beton dayanımı 20 MPa olan bir beton dizaynı karışımına, lif uzunluğu 3 cm olan ve doğal lif olarak sınıflandırılan atık tavuk tüyünün hacimce %0, %1 ve %2 ilave ederek beton yapmıştır. 15x30 cm silindir numune ve 15x15x60 cm kiriş kullanılarak betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. %0 tavuk tüyü katkılı betonun ortalama basınç dayanımı 200,78 kg/cm² olup, %1 tavuk tüyü lifi katkılı betonun basınç dayanım değeri 215,09 kg/cm² ve %2 tavuk tüyü lifi katkılı betonun basınç dayanım değeri ise 197,54 kg/cm² bulunmuştur. Bu arada %0, %1 ve %2 elyaf katkısı için sırasıyla 24,00 kg/cm², 23,03 kg/cm² ve 21,08 kg/cm² eğilme mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Bu da tavuk tüyü lifleri ilavesi optimum seviyeye geldikten sonra ile betonun basınç dayanım değerini ve eğilme dayanımını düşürmektedir. Bunun sebebi ise beton hazırlandıktan sonra tavuk tüylerinin betona yapışması zor olması ve suyu kolay emme özelliklerinden etkilenerek betonun kuruması daha uzun zaman aldığı içindir.

3. MATERYAL ve METOT

Çalışmalarda kullanılan malzemeler ve özellikleri ile uygulanan yöntemler bu bölümde anlatılmıştır. Tüm deneysel çalışmalar Vezirhan / Bilecik'te faaliyet gösteren Dinçer Çimento ve Beton San. Tic. A.Ş. fabrikasının Kalite Kontrol Laboratuvarında yapılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Kullanılması planlanan katkı malzemelerinin birbirinden bağımsız testlerinin yapılabilmesi ve sonuçların sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için öncelikle laboratuvar da alçı taşı (jips veya dihidrat) ile birlikte klinker numunesi öğütülerek, şahit numune yani katkısız bir çimento numunesi hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılacak tüm katkı numuneleri, hazırlanan bu şahit numuneye ayrı ayrı ikame edilerek katkılı çimento numuneleri hazırlanmıştır. Çalışma esnasında bu çimentoya ikame edilmesi için öğütülmüş kalker (kireçtaşı), mermer tozu, yumurta kabuğu tozu ve takviye malzemesi olarak da tavuk tüyleri kullanılmıştır. Her malzeme ve bu malzemelerle hazırlanan her bir çimento numunesinin fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Çimento numunelerinden ayrı ayrı harçlar hazırlandıktan sonra prizma betonları dökülüp 2 gün, 7 gün ve 28 gün boyunca kürlenerek, basınç dayanımları ve diğer mekanik testleri yapılmıştır. Bulunan sonuçlar, TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanan çimento tipi ve ikame katkı miktarları dikkate alınarak uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu bölümde, çalışmada kullanılan tüm katkılar ve bileşen malzemeler açıklanmıştır.

3.1.1 Şahit Numunenin Hazırlanması

Çalışmada planlanan katkı malzemelerinin birbirinden bağımsız bir şekilde ikame edilerek karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla hazırlanacak şahit numune için gerekli Portland klinkeri ve alçı taşı (jips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) numuneleri, fabrikanın çimento değirmenlerine besleme yapan tartılı lastik bantların üzerinden alınmıştır. Klinker,

fabrikanın hammadde ocaklarından temin edilen kalker ve kil ile dış tedarikçilerden demir cevherinin kırma, öğütme ve döner fırında pişirme işlemleri ile elde edilmektedir. Klinkerin hammadde bileşimi %80 kalker, %15 kil ve %5 demir cevherinden meydana gelmekte olup, çimentonun en saf yarı mamul şeklidir. Alçı taşı, çimentoda priz (donma) süresi düzenleyici olarak kullanılan ve olmazsa olmaz bir bileşendir. Hazırlanan şahit numunede kullanılan klinkerin kimyasal analizi ve faz değerleri Çizelge 3.1 'de, alçı taşının kimyasal analizi ise Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Şahit numune için kullanılan klinker numunesinin kimyasal analizi ve fazları.

Deneysel Veriler	Sonuç Değerler	Faz ve Modüller	Sonuç Değerler
SiO ₂ (%)	21,17	Serbest CaO	1,52
Al ₂ O ₃ (%)	5,53	Kireç Doygunluk Faktörü (LSF)	96,32
Fe ₂ O ₃ (%)	4,01	Silikat Modülü (S.M.) *	2,22
CaO (%)	66,35	Alüminyum Modülü *	1,38
MgO (%)	1,37	C3S (Alit) *	60,10
SO ₃ (%)	0,50	C2S (Belit) *	15,35
Na ₂ O (%)	0,19	C3A (Selit) *	7,87
K ₂ O (%)	0,89	C4AF (Ferrit) *	12,20
Kızdırma Kaybı (%)	0,22		

* Bogue Formüllerine göre hesaplanan faz ve modül değerleri.

Çizelge 3.2 Şahit numune için kullanılan alçı taşı numunesinin kimyasal analizi.

Deneysel Veriler	Sonuç değerler
SiO ₂ (%)	3,16
Al ₂ O ₃ (%)	0,75
Fe ₂ O ₃ (%)	0,44
CaO (%)	33,25
MgO (%)	0,58
SO ₃ (%)	40,26
Na ₂ O (%)	0,18
K ₂ O (%)	0,21
Kızdırma Kaybı (%)	20,99
Kristal Su (Hidrate Su) (%)	17,49



Resim 3.1 Laboratuvar değirmeninde hazırlanan şahit numune (katkısız çimento numunesi).

Portland klinkerine, priz (donma) süresini düzenlemek amacıyla içerisine kütlece %5 alçı taşı ilave edilerek, laboratuvar tipi bilyalı değirmende 30 dakika öğütüldükten sonra değirmenden alınmıştır. Hazırlanmış olan şahit numune Resim 3.1 'de verilmiştir.

Şahit numuneden, Panalytical Zetium marka X Ray (X Işını Floresans) Cihazında yapılan kimyasal analiz sonucu ile Bogue formüllerine göre hesaplanan kireç doygunluk faktörü (LSF), modüller ve fazlar Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Şahit numunenin kimyasal analiz sonucu ile faktör ve faz verileri.

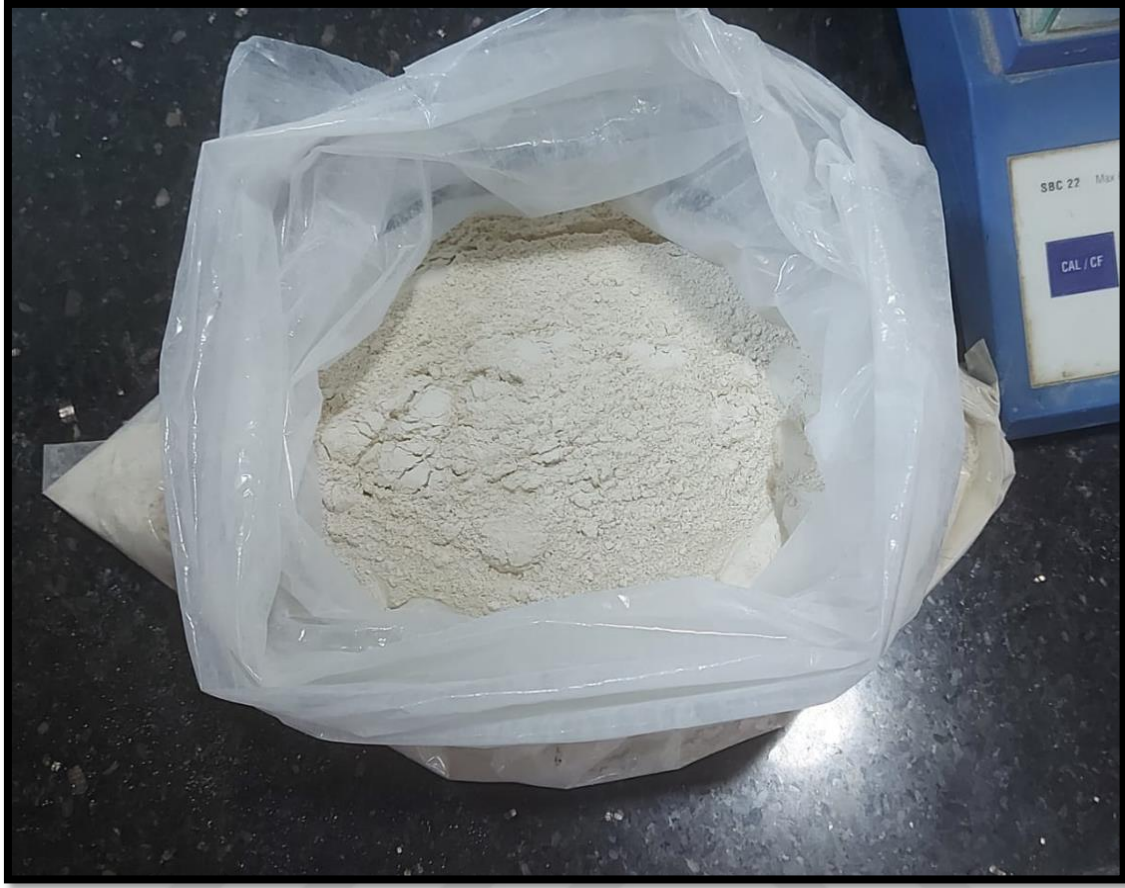
Deneysel Veriler	Sonuç Değerler	Faz ve Modüller	Sonuç Değerler
SiO ₂ (%)	19,81	Serbest CaO	1,43
Al ₂ O ₃ (%)	5,49	Kireç Doygunluk Faktörü (LSF) *	95,74
Fe ₂ O ₃ (%)	4,12	Silikat Modülü (S.M.) *	2,06
CaO (%)	63,72	Alüminyum Modülü *	1,33
MgO (%)	1,33	C3S (Alit) *	60,29
SO ₃ (%)	2,49	C2S (Belit) *	11,31
Na ₂ O (%)	0,17	C3A (Selit) *	7,58
K ₂ O (%)	0,86	C4AF (Ferrit) *	12,54
Kızdırma Kaybı (%)	1,25		

* Bogue Formüllerine göre hesaplanan faz ve modül değerleri.

Katkılı çimento numunelerini hazırlamak üzere şahit numuneye eklenecek olan tüm katkı numuneleri, şahit numuneye eklendiği miktar kadar şahit numune eksiltilerek hazırlanmış yani çimentoya ikame edilmiştir. Tüm katkı numunelerinin öğütme işlemi, pnömatik halkalı öğütücüde her seferde 100 gram numuneyi 60 saniye öğütme süresiyle, çalışma için yeterli miktarda defaten öğütülerek biriktirilmiştir. Her malzemenin sertliği ve öğütülebilirlik indeksi (hardgrove index) farklı olduğu için, optimum öğütme süresi ve şartları her malzeme farklı olmaktadır. Fakat bu durumda katkıların birbirine göre etkinliğini değerlendirmek zorlaşacağı için tüm katkılar eşit şartlarda ve eşit sürede öğütülmüştür. Tüm bileşenlerin hazırlık işlemleri aynı gün yapılmış olup, hazırlanan çimento numunelerinin tamamının harç testleri ertesi gün içinde tamamlanmıştır.

3.1.2. Kalker (Kireçtaşı) Katkısı

Şahit numuneye katkı (ikame) olarak kullanılacak kalker numunesi, yine fabrikanın çimento değirmenlerinin tartılı kalker bandından alınmıştır. 105°C'lik etüvde kurutulduktan sonra pnömatik halkalı öğütücüde, her 100 gram numune 60 saniye öğütülerek hazırlanmıştır.



Resim 3.2 Öğütülmüş kalker (kireçtaşı) numunesi.

Öğütülen kalkerin X Ray cihazında yapılan kimyasal analizi aşağıdaki Çizelge 3.4 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Öğütülmüş kalker katkısının kimyasal analizi.

Deneysel Veriler	Sonuç değerler
SiO ₂ (%)	3,11
Al ₂ O ₃ (%)	1,47
Fe ₂ O ₃ (%)	0,61
CaO (%)	52,96
MgO (%)	0,33
SO ₃ (%)	0,04
Na ₂ O (%)	0,00
K ₂ O (%)	0,07
Kızdırma Kaybı (%)	41,33

3.1.3 Mermer Tozu Katkısı

Katkı (ikame) olarak kullanılacak diğ er bir katkı olan mermer tozu, Afyon'da faaliyet gösteren bir mermer fabrikasının atık mermer tozu depolama alanından alınmıştır. Numune 105 C etüvde kurutulduktan sonra, (işletme şartları düşünülerek) temizlemeye yönelik herhangi bir işlem yapılmadan pnömatik halkalı öğütücüde her 100 gram numune 60 saniye öğütülerek hazırlanmıştır. X Ray cihazı kimyasal analizi  izelge 3.5'tedir.



Resim 3.3  ğ t lm ş mermer tozu (solda) ve şahit numune (sağda).

Çizelge 3.5  ğ t lm ş mermer tozu katkısının kimyasal analizi.

Deneysel Veriler	Sonuç değerler
SiO ₂ (%)	2,21
Al ₂ O ₃ (%)	0,41
Fe ₂ O ₃ (%)	0,18
CaO (%)	53,32
MgO (%)	0,29
SO ₃ (%)	0,04
Na ₂ O (%)	0,05
K ₂ O (%)	0,12
Kızdırma Kaybı (%)	43,30

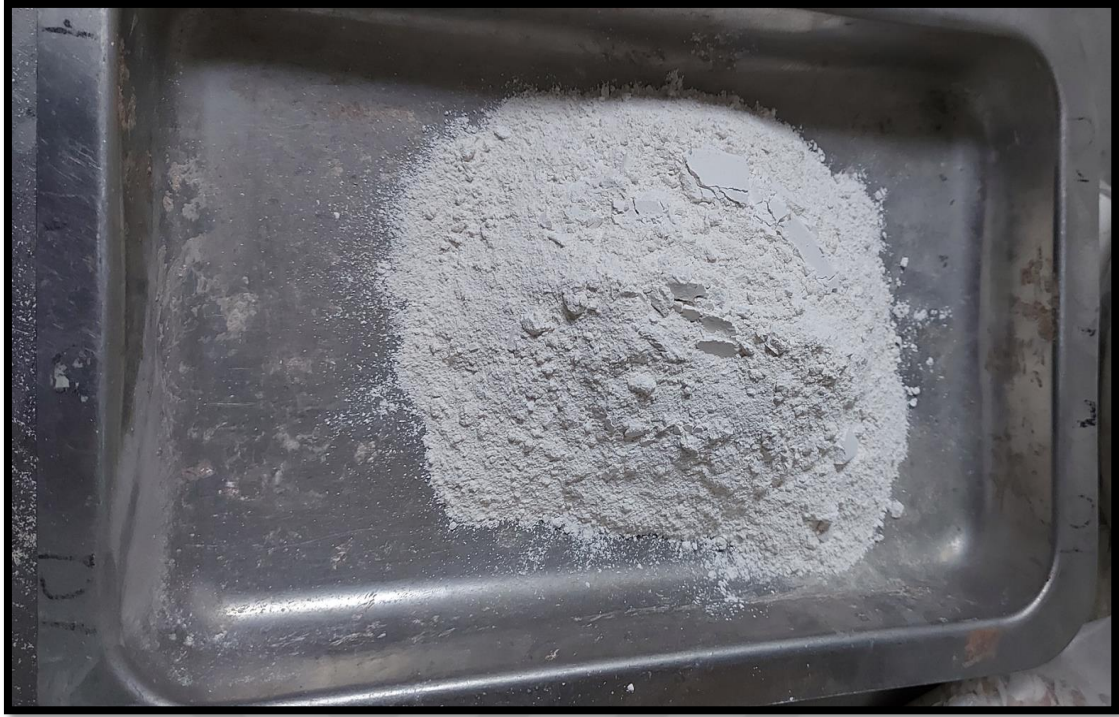
3.1.4 Yumurta Kabuğu Tozu Katkısı

Şahit numuneye katkı olarak (ikame) karıştırılacak yumurta kabukları, yemekhanelerden toplandıktan sonra kurumasına fırsat vermeden sıcak suyla yıkanarak dışkı, protein ve yağ artıklarından temizlenerek, mümkün olduğu kadar iç zarın tamamı temizlenmiştir. Temizlenen yumurta kabukları açık havada, gölgede kurumaya bırakılmış ve herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmadan çalışmanın yapılacağı güne kadar bekletilmiştir.

Daha önceden hazırlanıp biriktirilen kuru yumurta kabukları laboratuvarındaki pnömatik halkalı öğütücüde, her 100 gram numune 60 saniye öğütülerek toz hale getirilmiştir. Öğütme esnasında ise sülfür benzeri yanıcı ve rahatsız edici bir koku ortaya çıkmıştır. Yumurta kabuğu tozu soğuduktan sonra ise bu koku kaybolmuştur.



Resim 3.4 Temizlenip kurutulmuş yumurta kabukları.



Resim 3.5 Yumurta kabuğu tozu.

Gerekli fiziksel işlemlerden geçirilen yumurta kabuğu tozunun X Ray cihazında yapılan kimyasal analizi Çizelge 3.6 'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Öğütülmüş yumurta kabuğu tozu katkısının kimyasal analizi.

Deneysel Veriler	Sonuç değerler
SiO ₂ (%)	0,02
Al ₂ O ₃ (%)	0,18
Fe ₂ O ₃ (%)	0,01
CaO (%)	51,90
MgO (%)	0,68
SO ₃ (%)	0,01
Na ₂ O (%)	0,01
K ₂ O (%)	0,09
Kızdırma Kaybı (%)	46,89

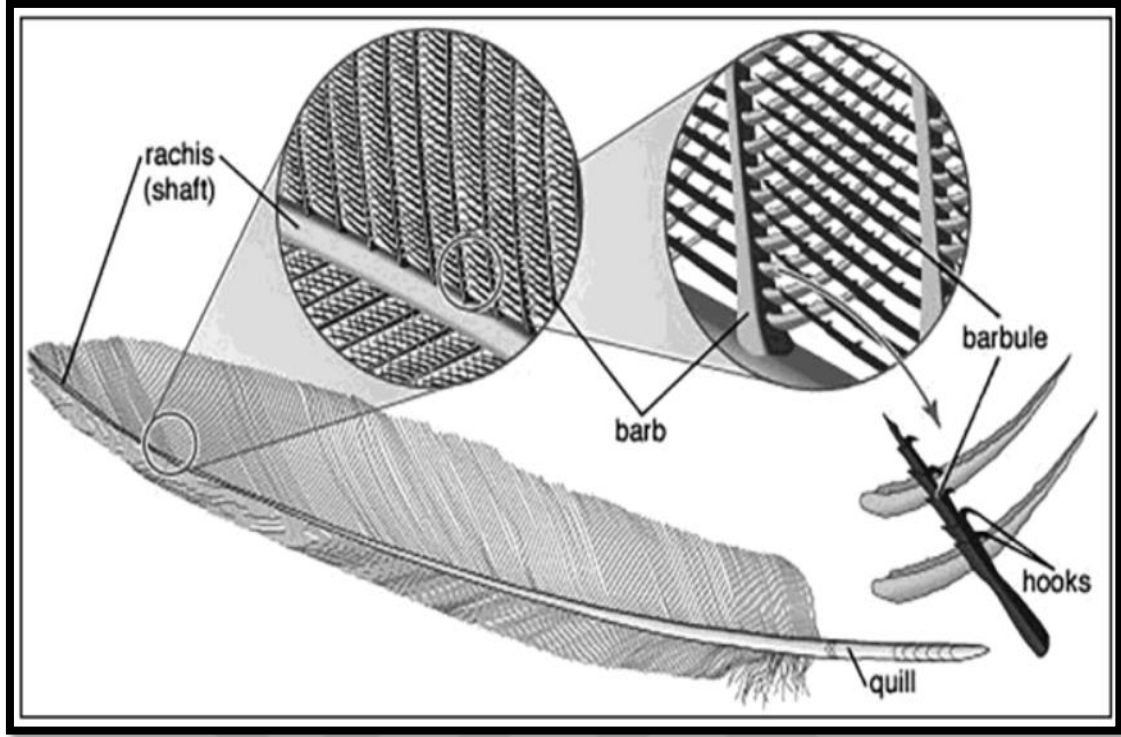
3.1.5 Takviye Malzemesi Olarak Kullanılacak Tavuk Tüyünün Hazırlanması

Yerel kümeslerde yetiştirilen ve kesime alınan bazı tavukların sırt ve kanat tüyleri karışık olarak toplandıktan sonra fırça ile kaba temizliği yapılmıştır. Herhangi bir yıkama işlemi yapmadan, çalışmanın başlatılacağı güne kadar açık havada, gölgede bekletilmiştir. Katkı numunelerin hazırlandığı gün, daha önceden toplanan tavuk tüyleri yaklaşık 10 mm boyutlarında kırılmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6 Kırılmış tavuk tüyleri

Kırma işlemi esnasında sadece kanat tüylerinin dipten itibaren 15 - 20 mm'lik sert kök kısımları ayrılmış olup, rachis adı verilen tüy sapı ile barb ve barbule adı verilen diken şeklindeki lifli tüy kısımları ayrılmadan birlikte kırılmıştır. Sırt tüylerinin ise tamamı kırılmıştır. Tavuk tüyünün dış yapısı Resim 3.7 'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Resim 3.7 Tavuk tüyünün yapısı. (<https://tekstilbilgi.net/wp-content/uploads/2022/01/kus-tuyunun-yapisi.png>)

“Tavuk tüylerinin kimyasal içeriği yaklaşık %91 oranında proteinlerden (keratin), %1 oranında lipitlerden ve %8 oranında da sudan oluşur. Keratinler, fibriler proteinlere aittir ve yüksek derecede mekanik dayanıma sahiptirler” (Kocatepe, 2019,).

Kırpılan tavuk tüyleri, biyolojik artıklarından ve yağlarından arındırmak amacıyla asetona daldırılıp yıkanarak temizlenmiştir. Ardından 55 °C etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Kurtulan tavuk tüyleri, yumurta kabuğu tozu katkılı çimento numunesinde bağlayıcı lif (fiber) görevi yapması amacıyla takviye malzemesi olarak kullanılmak üzere soğutulup bekletilmiştir. Tavuk tüylerinin yıkama ve kurutma işlem görüntüleri aşağıdaki resimlerden incelenebilir.



Resim 3.8 Asetonla yıkanan (solda) ve etüvde kurutmaya alınan tavuk tüyleri.



Resim 3.9 Kırpılıp, asetonla yıkandıktan sonra etüvde kurutulmuş tavuk tüyleri.

3.1.6 Standart Cen Kumu

Laboratuvarda farklı malzeme ve oranlarla ikame edilerek üretilen katkılı çimento numunelerinin harçları TS EN 196-1:2016 standardında belirlenen şartlara göre hazırlanırken Standart Cen Kumu kullanılmıştır. Standart Cen Kumu, Limak Pınarhisar Çimento Fabrikasında her bir paketi 1350 gram olarak, TS EN 196-1:2016 standardında tanımlanan kriterlere uygun olarak üretilen özel bir harç kumudur.



Resim 3.10 Standart Cen Kumu.

3.1.7 Harç Suyu

Harç numunelerinin hazırlanması esnasında, laboratuvarda dinlendirilmiş halde bulunan fabrika şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Metod

Çalışmada, tüm katkı numuneleri şahit numuneye (katkısız hazırlanan çimentoya) %5, %10 ve %15 olarak ikame edilmiştir. Tavuk tüyü ise, ikinci kez yumurta kabuğu tozu ikamesiyle hazırlanan çimento numunelerine, ayrıca (küttelece) %0,1, %0,2 ve %0,3

oranlarında takviye malzemesi amacıyla ilave edilerek tekrar hazırlanmıştır. Katkı cinslerine göre toplam 4 grup katkılı çimento numunesi hazırlanmıştır.



Resim 3.11 Katkı malzemeleriyle hazırlanan katkılı çimento numuneleri.

TS EN 197-1:2012 Standardına göre %5'e kadar katkılı çimentolar CEM I sınıfı, %6 ile %20 arasında kalker katkılı çimentolar ise CEM II / A-L sınıfı çimentolar olarak tanımlanmıştır. Katkı miktarı ve çimento sınıfına göre, her katkı ile Çizelge 3.7 'de gösterildiği şekilde numune grupları hazırlanmıştır. Test sonuçlarının değerlendirmesi ise hem çimento sınıfı göre hem de numune gruplarındaki katkı oranları dikkate alınarak ayrı ayrı yapılacaktır.

Çizelge 3.7 Çimento sınıfına göre kullanılan katkı ve takviye malzemesi miktarları.

Çimento Sınıfları	Katkı Çeşitleri *			
	Kalker	Mermer Tozu	Yumurta Kabuğu Tozu	Yumurta Kabuğu Tozu + Tavuk Tüyü
CEM I Sınıfı	%5	%5	%5	%5 + %0,1
CEM II / A-L Sınıfı	%10	%10	%10	%10 + %0,2
CEM II / A-L Sınıfı	%15	%15	%15	%15 + %0,3

* Tavuk tüyü de dahil tüm katkıların karışım oranları kütlecedir.

Katkılı olarak hazırlanan bu numunelerde, kütlece eklenen katkı miktarı kadar   imento azaltılmış yani çimentoya ikame edilmiştir. Tavuk tüyü ise takviye elemanı olarak ilave edildiği için,   imento miktarı azaltılmadan karıştırmıştır. Hazırlanan tüm katkılı   imento numunelerinin homojenizasyonu sağlanarak analizlere hazır hale getirilmiştir. Ayrıca tavuk tüyü   imento taneciklerine göre makro boyutlu olduğu için ve organik madde içeriğine bağlı olarak yüksek sıcaklıkta uçucu madde içeriğinden dolayı yanıtıcı sonuç vereceği için, tavuk tüyü ilave edilen yumurta kabuğu tozu katkılı   imento numunelerinin incelik tayini, kızıdırma kaybı,             kalıntı ve kimyasal analizleri yapılamamıştır.

3.2.1 Fiziksel ve Kimyasal Analizler ile Mekanik Testler

Katkı numuneleri ve bu katkılarla birlikte hazırlanan tüm   imento numunelerinin fiziksel ve kimyasal analizleri ile mekanik testleri TS EN 196 grubu standartlar esas alınarak yapılmıştır.

3.2.1.1 Fiziksel Analizler

Çalışmada kullanılacak katkı numuneleri ile bu katkıların ikamesiyle hazırlanan tüm   imento numunelerinin incelik tayinleri, TS EN 196-6:2020 Standardında tarif edildiği şekilde, Astek marka otomatik vakumlu elek makinesinde yapılmıştır.

3.2.1.2 Kimyasal Analizler

Çalışmada kullanılacak tüm bileşen numuneleri ile hazırlanan tüm   imento numunelerinin majör elementlerinin oksit cinsinden kimyasal analizleri Panalytical Zetium marka X Ray (X Işını Floresans) Cihazında yapılmıştır. X Ray cihazlarında analizi yapılamayan Kızıdırma Kaybı (Ateş Zayıatı, Loss on Ignition) tayini ise Protherm marka kül fırınında 975  C ‘de tayin edilmiştir.

Çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılan tüm malzemeler yüksek miktarda CaCO  ₃ (Kalsiyum Karbonat) ile çok az bir miktar MgCO  ₃ (Magnezyum Karbonat) içermektedir.

Çimento fabrikalarında X Ray cihazının yaygın olmadığı eski yıllarda veya arızalı olduğu dönemlerde, numunenin kimyasal analizinin yaş analiz metoduyla bulunması için gereken sürenin olmadığı işletme şartlarında, volümetrik metotla numunenin hızlıca karbonat CO_3^{2-} miktarı tayin edilir. Hammadde numunesinde tespit edilen Karbonat Miktarı (Titrasyon Değeri), malzemenin saflığının ölçüsü olup, kimyasal analiz değerleri ve kalitesi için bir fikir vererek, hammaddenin prosese beslenme oranı için gerekli hesaplamalar hızlıca yapılabilir. Burada kullandığımız katkı malzemelerinin de karbonat miktarları tayin edilmiştir.



Resim 3.12 Panalytical Zetium model X Ray Cihazı

Yapılan tüm kimyasal analizler TS EN 196-2:2013 Standart şartlarına uygun bir şekilde hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.3 Mekanik Testler

Klinker ve alçı taşı karışımının öğütülmesiyle hazırlanan şahit numune ile katkı malzemelerinin ikamesiyle elde edilen tüm katkılı çimento numunelerine, harcın kıvam (%Su ihtiyacı) tayini, basınç dayanımı, hacim genleşmesi (Le Chatelier) ve priz (sertleşme) sürelerinin tayini gibi mekanik testler uygulanmıştır.

Harcın kıvam tayini testi, hacim genleşmesi ve priz süreleri tayini TS EN 196-3:2017 standardında tarif edildiği şekilde yapılmıştır. Çimento harçlarının hazırlanması ve basınç dayanım testleri ise TS EN 196-1:2016 standart şartlarına göre yapılmıştır. Mekanik harç testleri, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve en az %50 bağıl nem şartlarını sağlayan harç laboratuvarında yapılmıştır.

4. BULGULAR

Hazırlanan tüm numunelere, 3.2 Metod bölümünde tanımlanan analiz ve testler sırayla uygulanmıştır. Çalışmada incelenen katkılı çimento numunelerinin, hem katkı cinsi ve ikame oranlarına göre, hem de TS EN 197-1:2012 standardında tanımlandığı şekilde çimento sınıflarına göre değerlendirme yapılacağı belirtilmişti. Bu kapsamda, katkı oranı %5 'e kadar olan çimento numuneleri CEM I Sınıfı Portland çimento sınıfına göre, katkı oranı %5 üzerinde olan çimento numuneleri ise CEM II / A-L Sınıfı Portland Kalkerli çimento sınıfına göre incelenmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

4.1 İncelik Tayini (Elek Analizleri)

Öğütme işlemi sonucunda hazırlanan şahit numune ve bu numuneye ikame edilecek olan katkı numunelerinin 32 micron incelik (elek bakiye) tayini için, 10 gram numune tartılarak otomatik elek cihazı üzerindeki 32 micron eleğe boşaltıldı. Cihazın kapağı kapatılıp 3 dakika boyunca çalıştırılırken, elek cidarında kalan taneciklerin elenmesi için ara sıra cihazın tokmağı ile kapağa vuruldu. 3 dakika sonra eleme işlemi bitince elek üzerinde kalan bakiye tartılarak, tartım sonucu 10 ile çarpılıp % cinsinden kaydedildi.

Şahit numune ve katkı numunelerinin incelik tayini sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.1 'de verilmiştir. Katkı numunelerinin şahit numuneye ikamesiyle elde edilen katkılı çimento numunelerinin 32 micron incelik tayini sonuçları ise Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Şahit numune ve katkı numunelerinin incelik tayinleri ile birlikte, malzemelerin öğütme miktarına ilişkin daha net bilgiler edinilmesiyle amacıyla D90 tane boyutlarının da tespit edilmesi önerisi alınmıştır. Bunun üzerine Malvern Panalytical Mastersizer 3000 model Partikül Boyut Dağılım cihazında tane boyut dağılımı testi yapılmıştır. Cihazda testler esnasında her malzemenin yoğunluk ve ışık kırılma indisi değerlerine göre ayrı ayrı besleme hızı, besleme süresi ve hava basıncı ayarlandıktan sonra cihazın numune haznesinden malzemeler pulverize bir şekilde merceklerle püskürtülerek D90 tane boyutu değerleri tespit edilmiştir. (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1 Şahit numune ve katkı numunelerinin 32 micron elek üstü bakiyeleri ve D90 tane boyutu değerleri.

	Şahit Numune	Kalker	Mermer Tozu	Yumurta Kabuğu Tozu
32 Micron Elek Bakiyesi	%29,1	%72,7	%88,9	%50,1
D90 Tane Boyutu	52	113	126	67

Yumurta kabuğu tozu + tavuk tüyü katkılı çimento numunesi, yumurta kabuğu tozu katkılı çimentoya sadece takviye malzemesi olarak tavuk tüyü ilave edilerek hazırlandığı ve başka hiçbir değişken olmadığı için ve ayrıca otomatik elek cihazına eleme işlemi için konulacak 10 gramlık numuneden tavuk tüylerinin geniş boyutundan dolayı homojen alınamadığı için yapılmamıştır. Ayrıca, tüm çimento numuneleri granül haldeki klinkerden başlanarak laboratuvar şartlarında manuel olarak hazırlandığı ve az miktarda üretilbildiği için Özgül Yüzey (Blaine) tayini de yapılmamıştır.

Çizelge 4.2 Katkılı çimento numunelerinin 32 micron elek üstü bakiyeleri.

Çimento Numuneleri	32 Micron Elek Bakiyeleri (%)		
	CEM I Sınıfı	CEM II A-L Sınıfı	
	%5 Katkı	%10 Katkı	%15 Katkı
Kalker Katkılı	29,4	29,9	32,5
M. T. Katkılı *	30,8	34,4	37,3
Y.K.T. Katkılı **	29,5	30,5	31,8

* Mermer Tozu Katkılı Çimento Numunesi

** Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı Çimento Numunesi

4.2 Karbonat Miktarı (Titrasyon Değeri)

Şahit numuneye ikame edilmek üzere 90 micron boyuta öğütülen katkı numunelerinin karbonat miktarı tayini için, 1 gram numune tartılıp 250 mL dar ağızlı erlene aktarıldı. N/2 HCl (Hidroklorik Asit) ile doldurulup, sıfır ayarı yapılmış büretten erlen içine 40 mL çözelti damla damla alındı. Erlen cidarına sıçrayan çözelti zerrecikleri saf su piseti ile

hafifçe yıkanarak indirilip, erlen dairesel olarak çalkalanıp karışması sağlandı. Erlenindeki çözelti elektrikli ocak üzerinde 2 taşım kaynatılıp ocaktan indirildi ve tekrar saf su piseti ile erlen cidarı yıkanarak soğutuldu. Birkaç damla fenol ftalein indikatör çözeltisi eklenip hafifçe çalkalandı. N/4 NaOH (Sodyum hidroksit) çözeltisiyle doldurulmuş ve sıfır ayarı yapılmış büretten, pembe renk dönüşümüne ulaşana kadar titre edildi. Titrasyon esnasında sarf edilen NaOH miktarı, büret derecesinden okunarak aşağıdaki hesaplama formülü ile karbonat miktarı bulunmuştur.

$$\% \text{ Karbonat Miktarı} = 0,025 \times (80 - n) / 2x \left(\frac{100}{T} \right) \quad (4.1)$$

T: Numune tartım miktarı

n: N/4 konsantrasyonlu NaOH sarfiyat miktarı

Kullanılan katkı malzemelerinin karbonat miktarı tayinleri bu Titrasyon metoduyla yapılarak, (4.1) hesaplama formülüyle hesaplanarak Çizelge 4.3 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Katkı numunelerinin Karbonat miktarları

	Kalker	Mermer Tozu	Yumurta Kabuğu Tozu
Karbonat Miktarı (%)	94,10	95,75	90,90

4.3 Kızdırma Kaybı (Ateş Zayiati)

Kızdırma kaybı, bir malzemeden ısıtma yoluyla uçan CO₂ miktarıdır. Çimento sektöründe sürekli kullanılan hammaddelerden genellikle kalker, marn ve kildeki kızdırma kaybına değerine bakılarak içeriği tahmin edilebilir. Ayrıca X Ray cihazlarında yapılan kimyasal analizlerde, analiz sonuçlarının yüksek hassasiyeti için, analizi yapılacak numuneye ait kızdırma kaybı değerinin cihaza girilmesi gerekmektedir.

Kızdırma kaybı tayini için, sabit tartıma getirilmiş kroze (mini laboratuvar potası), hassas terazide boş tartımı yapılarak içine, öğütülmüş numuneden 1 gram tartılarak konulmuştur. 975°C sıcaklıkta kül fırınına yerleştirilmiştir. 20 dakika bekletildikten

sonra kül fırınından çıkartılıp, silika jel muhteviyatlı kapaklı desikatör içinde soğumaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan kroze desikatörden çıkartılıp bekletilmeden hassas terazide tartılmıştır. Tartım sonucundan, krozenin darası çıkartılıp 100 ile çarpılarak veya aşağıda verilen (4.2) formülünde tarif edildiği şekilde hesaplanarak ve kızdırma kaybı sonucu % cinsinden kaydedilmiştir.

$$\% Kızdırma Kaybı = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (4.2)$$

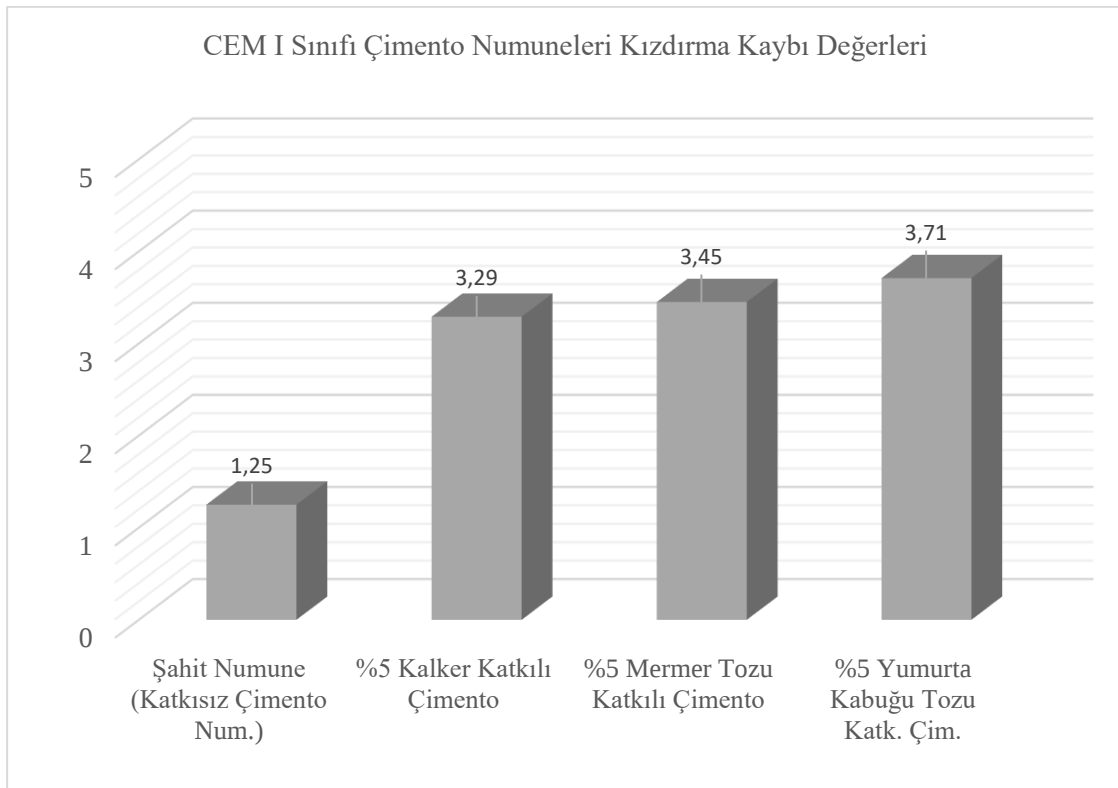
m_1 : Krozeye eklenen numunenin tartımı (gram)

m_2 : Kızdırılan numunenin tartımı (gram)

Çizelge 4.4 Tüm numunelerin kızdırma kaybı sonuçları.

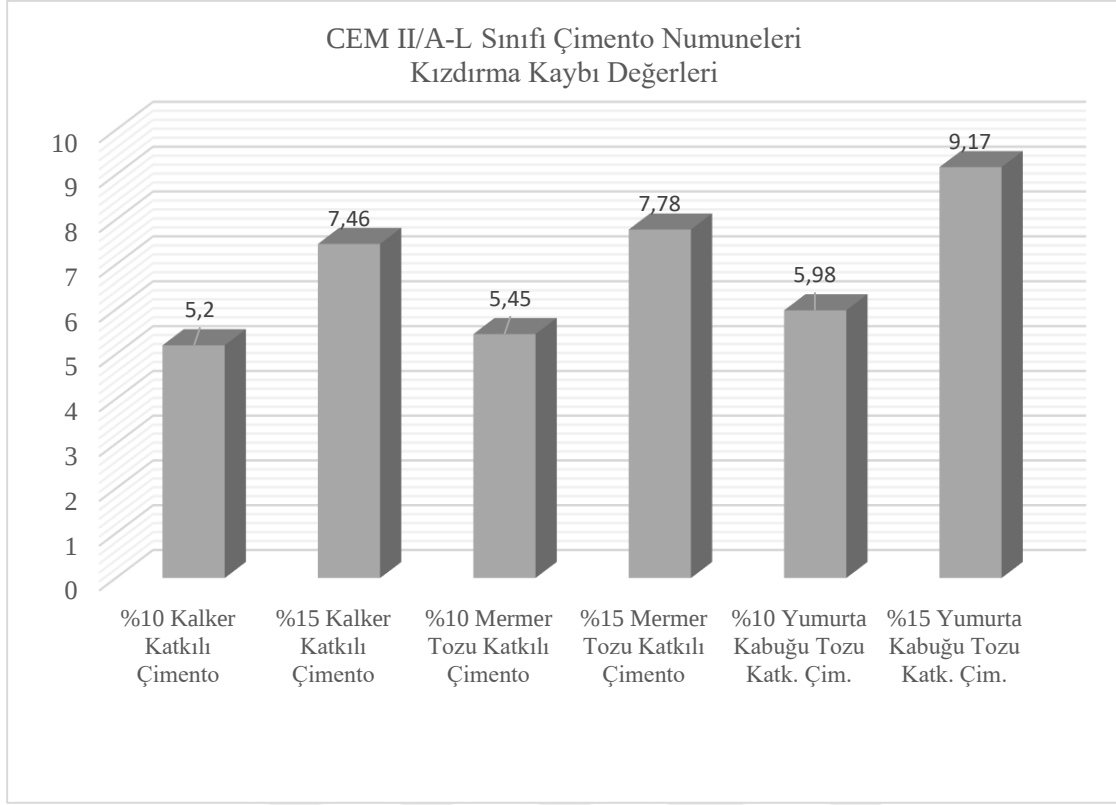
Numune Cinsi	Kızdırma Kaybı (%)
Şahit Numune (Katkısız Çimento Num.)	1,25
Kalker Numunesi	41,33
%5 Kalker Katkılı Çimento	3,29
%10 Kalker Katkılı Çimento	5,20
%15 Kalker Katkılı Çimento	7,46
Mermer Tozu Numunesi	42,43
%5 Mermer Tozu Katkılı Çimento	3,45
%10 Mermer Tozu Katkılı Çimento	5,45
%15 Mermer Tozu Katkılı Çimento	7,78
Yumurta Kabuğu Tozu Numunesi	46,89
%5 Yumurta Kabuğu Tozu Katk. Çim.	3,71
%10 Yumurta Kabuğu Tozu Katk. Çim.	5,98
%15 Yumurta Kabuğu Tozu Katk. Çim.	9,17

Yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento numunesi, bünyesinde organik madde olan tavuk tüyü barındırdığı için, yanıtıcı sonuçlardan kaçınmak üzere kızdırma kaybı tayini yapılmamıştır. Tüm numunelerin kızdırma kaybı değerleri çimento tipine göre ayrı ayrı incelenecek olursa, CEM I Sınıfı Portland çimento sınıfında olan şahit numune ile %5 katkılı çimento numunelerinin kızdırma kaybı grafiği Şekil 4.1'deki gibidir. TS EN 197-1:2012 standardına göre CEM I Sınıfı çimento sınıfında kızdırma kaybı değerinin max. %5 olması şartı dikkate alındığında, %5 katkı ikameli hazırlanmış numunelerin tamamının bu standart şartını karşıladığı görülmektedir.



Şekil 4.1 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırması.

CEM II / A-L Sınıfı Portland Kalkerli çimento sınıfında incelendiği takdirde ise, %10 ve %15 ikame katkılı çimento numunelerinin kızdırma kaybı değerine göre düzenlenmiş olan Şekil 4.2'deki grafiği incelendiğinde ise tüm değerlerin %10'un altında olduğu görülmektedir. TS EN 197-1:2012 standardına göre CEM II / A-L Sınıfı Portland Kalkerli Çimento sınıfında kızdırma kaybı değeri için alt veya üst limit şart yoktur. Dolayısıyla kızdırma kaybı açısından yine standarda aykırı bir durum mevcut değildir.



Şekil 4.2 CEM II / A-L Sınıfı çimento numunelerinin kızdırma kaybı değerlerinin karşılaştırması.

4.4 Çözünmeyen Kalıntı Miktarı

Çözünmeyen kalıntı miktarı, çimento numunesi içerisinde SiO_2 kaynaklı ve asitte çözünmeyen diğer bazı minerallerin tespiti için yapılır. Bu veri sayesinde çimento içerisinde SiO_2 kaynaklı katkı malzemelerinin varlığı tespit edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan tüm katkılar CaCO_3 kaynaklı mineraller olduğu için, çözünmeyen kalıntı miktarının çok düşük olacağını biliyoruz. Fakat TS EN 197-1:2012 standardında, CEM I sınıfı çimentolarda çözünmeyen kalıntı miktarının kontrolü ve üst limit değerini (max. %5) belirlediği için, sadece %5 ikame katkı ile hazırladığımız numunelerde çözünmeyen kalıntı miktarı tayini yapılmıştır. Bunun için 250 mL'lik behere 1 gram numune tartılıp üzerine saf su ilave edildi. Bagetle karıştırılırken üzerine 10 mL derişik HCl (Hidroklorik Asit) ilave edilerek, hot plate üzerinde ısıtılan numunenin tamamen çözünmesi için baget yardımıyla yavaşça ezilerek parçalanması sağlandı. Kaynama noktasına ulaştığı anda 15 dakika dinlendirilip beyaz bant (orta gözenekli) süzgeç kağıdından süzülüp, klorür iyonlarından arındırılması için sıcak saf su ile yıkama yapıldı. Süzme işlemi tamamlanan filtre kağıdı ufak parçalara bölünerek bir behere alınıp, üzerine 100 mL %5'lik Na_2CO_3

çözeltisi konularak 15 dakika karıştırılıp kaynatıldı. Çözelti tekrar beyaz bant süzgeç kağıdından süzülüp, önce %5'lik sıcak HCl ile ardından en az 10 kez sıcak saf su ile yıkandı. Süzme işlemi tamamlanınca süzgeç kağıdı tartımı alınmış bir kroze konularak 975°C sıcaklıktaki Protherm marka kül fırınında yakıldı. Desikatörde soğutulduktan sonra tartılarak, aşağıdaki (4.3) formüle göre hesaplamalar yapıldı.

$$\% \text{ Çözünmeyen Kalıntı} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (4.3)$$

m_1 : Deney numunesinin ilk kütlesi (g)

m_2 : Deney numunesinin fırından çıktıktan sonraki kütlesi (g)

Yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento numunesi, bünyesinde organik madde olan tavuk tüyü barındırdığı için, yanıtıcı sonuçlardan kaçınmak üzere yine çözünmeyen kalıntı tayini yapılamamıştır. %5 ikame katkı ile hazırlanan çimento numunelerinin çözünmeyen kalıntı değerleri Çizelge 4.5 'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Şahit numune ve %5 katkılı çimento numunelerinin çözünmeyen kalıntı değerleri.

	Şahit Numune	%5 Kalker Katkılı Çimento	%5 Mermer Tozu Katkılı Çimento	%5 Yumurta Kabuk Tozu Katkılı Çimento
Çözünmeyen Kalıntı Miktarı (%)	0,32	0,38	0,44	0,32

4.5 Kimyasal Analizler

Çalışmada işleme alınan tüm numunelerin kimyasal analizleri TS EN 196-2:2013 Standart şartlarına uygun olarak işleme alınmış ve değerlendirme yapılmıştır. Numunelerin oksit cinsinden kimyasal bileşim analizleri X Ray cihazında yapılmaktadır.

X Ray cihazında analiz için öğütülmüş numuneden kulplu platin kroze içine 0,8 gram numune tartılarak, üzerine 8 gram Lityum Tetra Borat kimyasalı eklendi. Karışım malzeme içeren platin kroze ve boş platin tabağı, elektrik indüksiyonlu eritiş cihazının

içine yerleştirilerek 1150°C sıcaklıkta eritiş işlemi başlatılmıştır. Elektrik indüksiyonlu eritiş cihazı, platin kroze içinde malzemeyi erimiş cam formuna getirerek, yüzeyi pürüzsüz olan platin tabak içine boşaltılıp hızla soğutma işlemi başlatarak cam hale gelen numuneleri de hızla soğutmuştur.



Resim 4.1 Elektrik İndüksiyonlu Eritiş Cihazında şahit numuneden hazırlanmış cam eritiş numunesi. (Cam eritiş numunesi, X Ray Cihazında analiz yapılırken, kasetin penceresinden numuneye arpan X ışınları, cam numuneyi yakarak rengini koyulaştırmaktadır.)

Eritiş işlemi tamamlandıktan sonra dairesel cam levha haline gelen her bir numune, X Ray cihazının kasetlerine takılarak, cihaz üzerindeki numune yuvalarına yerleştirilmiştir. X Ray cihazı yazılımından her numune için, ilgili analiz programı ve numune yuvası

seçilip, kızdırma kaybı değeri girilerek kimyasal analiz başlatılmıştır. Yaklaşık 6 dakika içinde her numunenin kimyasal analiz sonucu cihaz bilgisayarından okunarak kayıt altına alınmıştır.

İkame katkı olarak kullanılan kalker, mermer tozu ve yumurta kabuğu tozunun kimyasal analizleri ile şahit numunenin, şahit numune bileşiminde kullanılan klinker ve alçı taşının kimyasal analiz sonuçları daha önce 3.1 Kullanılan Malzemeler bölümünde detaylı olarak verilerek değerlendirmeleri yapılmıştır.

Çizelge 4.6 CEM I Portland Çimento sınıfında %5 katkı hazırlanan çimento numunelerinin TS EN 197-1:2012 kapsamında komple kimyasal analiz karşılaştırması.

CEM I Sınıfı Portland Çimento Numuneleri Kimyasal Analiz Sonuçları				
Deneysel Veriler	%5 Kalker Katkılı	%5 Mermer Tozu Katkılı	%5 Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı	TS EN 197-1:2012 Standart Şartları
SiO ₂ (%)	19,05	18,81	18,81	
Al ₂ O ₃ (%)	5,30	5,23	5,25	
Fe ₂ O ₃ (%)	3,91	3,91	3,88	
CaO (%)	63,03	63,26	62,91	
MgO (%)	1,28	1,27	1,28	
SO ₃ (%)	2,40	2,38	2,42	≤ %3,50
Na ₂ O (%)	0,18	0,16	0,18	
K ₂ O (%)	0,81	0,81	0,83	
Kızdırma Kaybı (%)	3,29	3,45	3,71	≤ %5,00
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,38	0,44	0,32	≤ %5,00

Katkı ikameleriyle hazırlanan çimento numuneleri, yine TS EN 197-1:2012 Standart şartları kapsamında CEM I Sınıfı Portland Çimento ve CEM II / A-L Sınıfı Portland Kalkerli Çimento kapsamında değerlendirme yapılacaktır. Laboratuvar şartlarında CEM I Sınıfı Portland çimento sınıfında üretilen çimento numunelerinin komple kimyasal analizleri Çizelge 4.6 ‘da verilmiştir.

CEM II / A-L sınıfı Portland Kalkerli Çimento kapsamında hazırlanan %10 ve %15 katkılı çimento numunelerinin komple kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8 'de ayrı ayrı gruplandırılarak verilmiştir.

Çizelgeler incelendiğinde, laboratuvar şartlarında klinkerden başlanarak hazırlanan tüm katkılı çimento numunelerinin TS EN 197-1:2012 Standart şartlarını sağladığı görülmektedir. Yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento numunesi, bünyesinde organik madde olan tavuk tüyü barındırdığı için, yanıtıcı sonuçlardan kaçınmak üzere ayrıca bir kimyasal analizi yapılmamıştır.

Çizelge 4.7 CEM II / A-L Portland Kalkerli Çimento sınıfında hazırlanmış olan %10 katkılı numunelerin TS EN 197-1:2012 kapsamında kimyasal analiz karşılaştırması.

CEM II A-L Sınıfı Portland Kalkerli Çimento Numuneleri Kimyasal Analiz Sonuçları				
DeneySEL Veriler	%10 Kalker Katkı	%10 Mermer Tozu Katkı	%10 Yumurta Kabuğu Tozu Katkı	TS EN 197-1:2012 Standart Şartları
SiO ₂ (%)	18,32	18,05	17,67	
Al ₂ O ₃ (%)	5,08	5,00	4,92	
Fe ₂ O ₃ (%)	3,75	3,66	3,68	
CaO (%)	62,39	62,65	62,58	
MgO (%)	1,22	1,25	1,24	
SO ₃ (%)	2,30	2,29	2,26	≤ %3,50
Na ₂ O (%)	0,15	0,17	0,15	
K ₂ O (%)	0,77	0,77	0,80	
Kızdırma Kaybı (%)	5,20	5,45	5,98	-

Çizelge 4.8 CEM II / A-L Portland Kalkerli Çimento sınıfında hazırlanmış olan %15 katkılı numunelerin TS EN 197-1:2012 kapsamında kimyasal analiz karşılaştırması.

CEM II A-L Sınıfı Portland Kalkerli Çimento Numuneleri Kimyasal Analiz Sonuçları				
DeneySEL Veriler	%15 Kalker Katkılı	%15 Mermer Tozu Katkılı	%15 Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı	TS EN 197-1:2012 Standart Şartları
SiO ₂ (%)	17,29	17,26	16,48	
Al ₂ O ₃ (%)	4,90	4,65	4,58	
Fe ₂ O ₃ (%)	3,57	3,44	3,48	
CaO (%)	61,92	62,00	61,38	
MgO (%)	1,18	1,17	1,19	
SO ₃ (%)	2,15	2,15	2,13	≤ %3,50
Na ₂ O (%)	0,12	0,13	0,10	
K ₂ O (%)	0,74	0,73	0,74	
Kızdırma Kaybı (%)	7,46	7,78	9,07	-

4.6 Harcın Kıvam (Su İhtiyacı) Tayini

Basınç dayanımı ve diğer mekanik testleri yapılacak çimento numunesinde ilk olarak kıvam testi yapılarak, çimento numunesiyle hazırlanan harcın su ihtiyacı tespit edilir. Bunun için 1 gram hassasiyetli terazide 500 gram çimento numunesi tartıldı. Harç karıştırma cihazının karıştırma haznesine, en az 24 saat oda şartlarında dinlendirilmiş ve damıtılmış 125 mL su boşaltılıp, üzerine çimento numunesi dikkatli bir şekilde 10 saniye içinde ilave edildi. Harç karıştırma cihazı hemen 90 saniye düşük hızda çalıştırılıp, durduruldu. 30 saniye içinde karıştırma haznesinin çeperleri temizlenip karışıma eklendi ve harç karıştırma cihazı tekrar 90 saniye düşük hızda çalıştırılıp karıştırıldı. İçi yağlanmış temiz bir vicat halkası cam levha üzerine yerleştirilip, karıştırma haznesindeki çimento hamuru vakit kaybetmeden yerleştirildi ve harç yüzeyi düzleştirildi. Vicat aletine sonda takılarak sıfır ayarı yapıldı. Sondanın ucu vicat halkasının ortasında harcın üst yüzeyine hafifçe dokunacak kadar indirilip, 1-2 saniye bekletilip serbest bırakıldı. Sonda, kendi ağırlığı ile harcın içine girmiştir. Normal kıvamlı çimento hamuru için, kullanılan su yeterli ise sonda yarım dakika içinde cam levhaya 6±2 mm kalıncaya kadar

inmektedir. Bu işlem, her numune için en az bir kez su ile tekrarlanarak, çimento numuneleri için gereken su miktarları tayin edilmiştir.

Tüm numunelerin kıvam suyu tayininde, 500 gram çimento numunesiyle hazırlanan harca verilen su miktarları ile % su oranları Çizelge 4.9 'da verilmiştir.

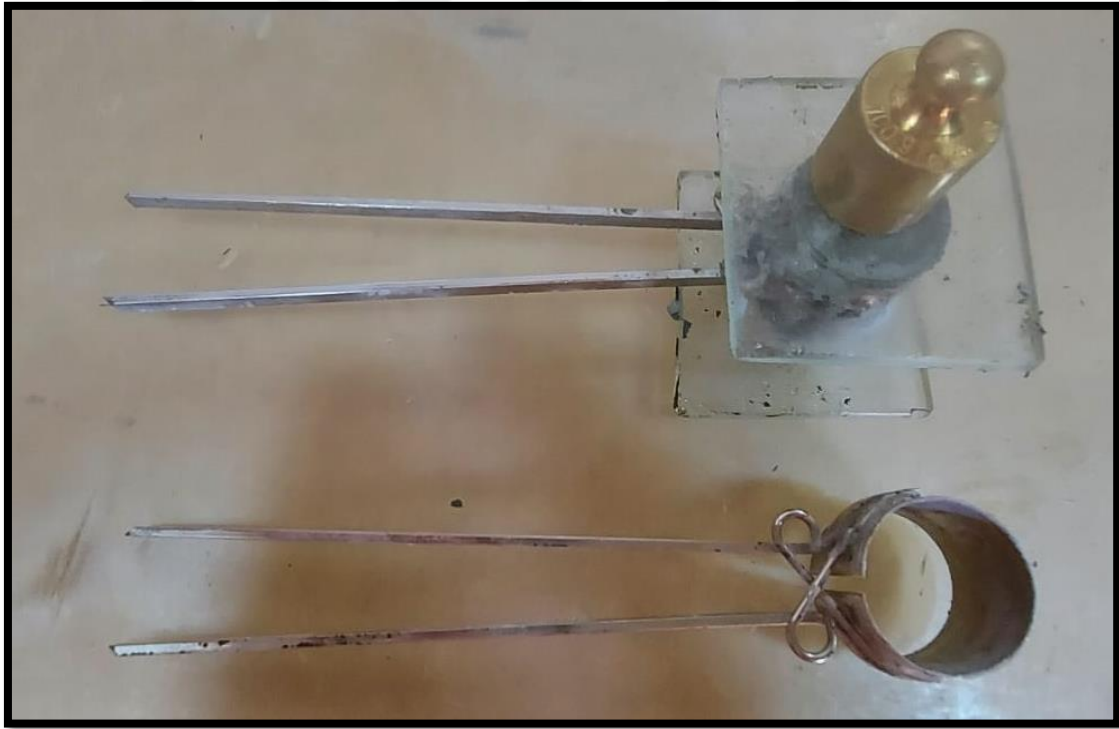
Çizelge 4.9 Tüm numunelerin harçlarıyla yapılan kıvam suyu değerleri.

Numuneler	Harca Verilen Su Miktarı (gram)	Su Oranı (%)
Şahit Numune	120	24,0
%5 Kalkerli Çimento	120	24,0
%10 Kalkerli Çimento	119	23,8
%15 Kalkerli Çimento	118	23,6
%5 Mermer Tozu Katkılı Çimento	117	23,4
%10 Mermer Tozu Katkılı Çimento	115	23,0
%15 Mermer Tozu Katkılı Çimento	110	22,0
%5 Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı Çimento	122	24,4
%10 Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı Çimento	124	24,8
%15 Yumurta Kabuğu Tozu Katkılı Çimento	128	25,6
%5 Yumurta Kabuğu Tozu + %0,1 Tavuk Tüyü Katkılı Çimento	125	25,0
%10 Yumurta Kabuğu Tozu + %0,2 Tavuk Tüyü Katkılı Çimento	129	25,8
%15 Yumurta Kabuğu Tozu + %0,3 Tavuk Tüyü Katkılı Çimento	134	26,8

4.7 Hacim Genleşmesi Tayini

Priz süresi tayininden artan çimento hamurlarından hacim genleşmesi tayinlerine devam edilmiştir. Eğer hamur yetersiz olursa, 500 gram çimento ve 125 gram su ile normal kıvamda yeniden çimento hamuru hazırlanarak hacim genleşmesi tayini yapılabilir. Hafifçe yağlanmış Le Chatelier kalıbı, yine hafifçe yağlanmış bir cam levha üzerine konuldu ve içi çimento hamuru ile dolduruldu. Le Chatelier kalıbının üst yüzeyi spatula

ile düzleştirildi. Üst yüzey bir cam levha ile kapatılıp, üzerine yaklaşık 75 gramlık bir ağırlık konuldu. Kalıplar, sıcaklığı $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan ve en az %90 rutubetli kür dolabında 24 saat bekletildi. 24 saat sonunda kalıpların üzerindeki cam levhalar çıkartıldı. Kalıplardaki çubuk uçlarının açıklıkları ölçülüp kayıt altına alındı (*a*). Kalıplar, çubukları yukarı gelecek şekilde kaynatma kabına yerleştirildi. Kaynatma kabı 30 dakikada kaynayacak şekilde ısıtılarak, kaynama sıcaklığında 3 saat bekletildi. Kaynatma süresi sonunda çubuk uçları açıklığı yeniden ölçüldü (*b*). Kalıplar sıcak ortamdan alınarak, laboratuvar ortam sıcaklığına kadar soğuması için bekletildikten sonra çubuk uçları arasındaki mesafeler (*c*) ölçülerek, en yakın 0,5 mm'ye yuvarlatıldı. Deney sonunda (*b - a*), (*c - b*) ve (*c - a*) değerleri mm cinsinden ayrı ayrı hesaplanmıştır. (*c - a*) değeri, mm cinsinden toplam hacim genişmesini vermektedir.



Resim 4.2 Le Chatelier halkasında yapılmış hacim genişmesi testi (üstte) ve boş halka (altta).

Hazırlanan numunelerin hacim genişmeleri hesaplandığında, şahit numunenin hacim genişme değeri 0,5 mm olup, diğer numunelerin tamamının hacim genişmeleri 1 mm olduğu bulunmuştur. TS EN 197-1:2012 Standardında hacim genişmesi üst limiti 10 mm olduğu için, numunelerimizin tamamının standarda uygun olduğu görülmüştür.

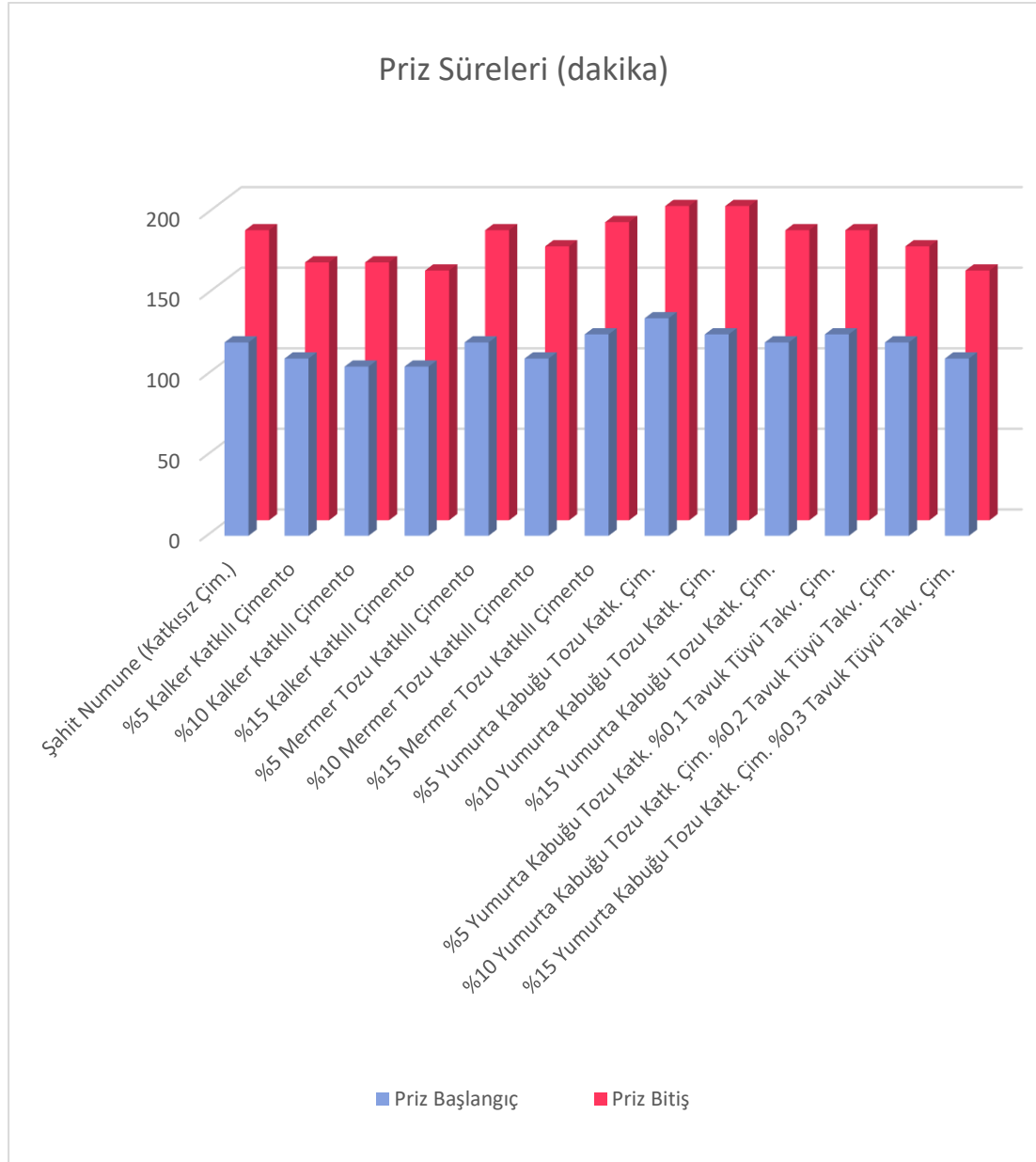
4.8 Priz (Sertleşme) Süresi Tayini

Çimento numunelerinin priz (sertleşme) sürelerinin tayini için 500 gram çimento ve 125 gram su ile normal kıvamda bir çimento hamuru hazırlandı ve saat kayıt altına alındı. Çimento hamuru vicat aletinin halkasına yerleştirilip, yüzeyi masterla düzleştirildikten sonra içinde hamur bulunan halka dikkatlice vicat aletine yerleştirildi. Vicat iğnesi, halkanın konulduğu alt zemine değdiği zaman sıfırı gösterecek şekilde ayarlandı. Vicat iğnesi halka içindeki hamurun üst yüzeyine dokunacak kadar indirilerek, 1-2 saniye tutulup serbest bırakıldı. İğnenin düşey olarak birden hamurun içine girmesi sağlandı. İğnenin hamura batması tamamlandıktan sonra (veya iğnenin serbest bırakılmasından 30 saniye sonra, hangisi önce olursa) göstergedeki değer okundu. Priz başlangıç süresinin tespiti için her 10 dakikada bir iğne hamura batırıldı. İğnenin batırılma yeri halka kenarından 8 mm, bir önceki batırılma yerinden ise 10 mm uzakta olmalıdır. İğne, her batırılışından sonra bir bezle iyice silindi. Çimento hamuruna batan iğne alt tablaya 6 ± 3 mm uzaklıkta kaldığı an priz başlamış sayılmaktadır. Saat okunup kayıt altına alındı. Çimento ile suyun karıştırıldığı andan, prizin başlangıç anına kadar geçen zaman priz başlangıç süresinin vermektedir. Prizin başlamasından sonra iğne her 10 dakikada bir hamura batırılmaya devam edildi. İğnenin hamura en fazla 0,5 mm girebildiği kıvamın olduğu an priz bitiş süresini vermektedir. Saat tekrar okunup kayıt altına alındı. Priz sonu, sıfır anından itibaren 0,5 mm'ye batma süresine kadar geçen süredir. Bu işlemler her numune için ayrı ayrı tekrarlanarak priz süreleri tespit edilmiş ve Şekil 4.3 'de verilmiştir.

Bazı katkılı çimento numunelerinde katkı oranı arttıkça priz süresinin azaldığı görülürken, bazı numunelerde ise katkı oranı ile birlikte priz süresinin arttığı görülmüştür. TS EN 197-1:2012 Standardında priz başlangıç süreleri, çimento dayanım sınıflarına göre alt limiti 40 – 60 dakika arasında değişmektedir. Çalışma esnasında üretilen CEM I ve CEM II / A-L sınıfı çimento numunelerimizin tamamının priz başlangıç süreleri, bu alt limitlerin çok üzerinde olduğu için standart şartlarını sağlamaktadır.



Resim 4.3 Vicat aletinde çimento hamurundan priz süresi tayini.



Şekil 4.3 Tüm çimento numunelerinin priz (sertleşme) başlangıç ve priz bitiş süreleri.

4.9 Basınç Dayanımları

Katkı malzemelerinin çimentoya ikame edilerek harç performansları karşılaştırılırken, TS EN 197-1:2012 Standardına göre CEM I Portland Çimento sınıfı ve CEM II / A-L Portland Kalkerli Çimento sınıfına uygunluklarının diğer bir şartı da harç basınç dayanımlarıdır (basınç mukavemeti).

Çimentolar adlandırılırken, katkı tipine (CEM I veya CEM II / A-L gibi), katkı çeşitliliğine (CEM II / A-M (P-L) gibi), katkı tipinin miktarına (CEM II / B-L gibi), 28 günlük min. basınç dayanım miktarına (CEM II / A-L 42,5 gibi) ve 2 günlük min. basınç dayanım miktarına (CEM II / B-L 42,5 R gibi) göre sınıflandırılarak kodlamalar alır. Kısaca çimento adında geçen tüm karakterlerin bir anlamı vardır. Bu tanımlamalar TS EN 197-1:2012 Standardında ifade edilmiş olup, geçerlilik kazanmış çimento tipleri bu standardın “6.1 Genel Çimentoların Bileşim ve İşareti” bölümündeki çizelgede verilmiş olup, Resim 4.4 ‘de incelenebilir.

Tüm çimento sınıflarının fiziksel özellikleri, kimyasal gereklilikleri, özel dayanıklılık şartları, mekanik şartları ve diğer uygunluk kriterleri standardın ilgili bölümlerinde detaylı olarak anlatılmıştır. Bazı hallerde bir çimento numunesinin sınıfı tespit edilirken, birden fazla çimento sınıfı için belirlenmiş olan uygunluk kriterlerine uyum sağladığı görülebilir. Bu durumda, mevcut olan çimentonun sınıfı, üretici firma tarafından yetkilendirilmiş kuruluşlardan alınan CE Ürün Uygunluk Belgesinde belirlenen çimento sınıfında değerlendirilmektedir.

Çalışmada hazırlanan tüm numunelerin, katkısız çimento olan şahit numuneden başlanarak, aynı gün ve aynı şartlar altında basınç dayanımı tespiti için çimento harçları döküldü. İşlemler, karıştırma hızı ve süreleri TS EN 196-1:2016 Standardında tanımlandığı şekilde programlanmış olan Astek marka otomatik harç karıştırma cihazında yapılmıştır.

Harcın hazırlanması için otomatik karıştırma cihazının karıştırma haznesine 225 gram dinlendirilmiş su konulup, üzerine 450 gram çimento numunesi ilave edildi. Harç karıştırma cihazı çalıştırılarak, düşük hızda 30 saniye karıştırıp, 30 saniye sonunda 1350 gram (1 paket) standart cen kumunu otomatik olarak aldı. Kumun alınması 60 saniyelik sürenin sonunda tamamlandıktan sonra karıştırma cihazı yüksek hızda 30 saniye daha karıştırma yaptı. 90 saniye sonunda duran karıştırma cihazından karıştırma haznesi çıkarılarak, hazne çeperlerine ve palete bulaşmış olan ham harç, harç spatülü ile hazne içine indirildi. Standartta göre bu işlem 30 saniye içinde tamamlanıp, hazne yerine takılmalıdır. Ardından karıştırma cihazı 90 saniyelik duruştan sonra yüksek hızda 60

saniye daha karıştırma yaptı. Böylece toplam 4 dakika sonunda hazırlanmış olan harç kalıplara yerleştirilmek üzere hazır hale geldi.

ICS 91.100.10

TÜRK STANDARDI

TS EN 197-1/Nisan 2012

Çizelge 1 - Genel çimento ailesindeki 27 ürün

Ana Tipler	27 ürüne ait işaret (Genel Çimento Tipleri)	Bileşim (kütlece % olarak)											
		Ana bileşenler										Minör ilave bileşen	
		Klinker	Yüksek fırın cürufu	Silis dumanı	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist	Kalker			
					Doğal	Doğal kalsine edilmiş	Silissi	Kalkersi		L	LL		
			K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T	L	LL	
CEM I	Portland çimento	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland cürufu çimento	CEM I/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland silis dumanlı çimento	CEM I/A-D	90-94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-P	80-94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland puzolanlı çimento	CEM I/B-P	65-79	-	-	21- 35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	Portland uçucu külü çimento	CEM I/A-V	80-94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM I/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Portland pişmiş şistli çimento	CEM I/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM I/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		Portland kalkerli çimento	CEM I/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-
	CEM I/B-L		65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
	CEM I/A-LL		80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
	CEM I/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Portland kompoz çimento ^{c)}	CEM I/A-M	80-88	12 - 20									0-5
CEM I/B-M		65-79	21 - 35									0-5	
CEM III	Yüksek fırın cürufu çimento	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzolanlı çimento ^{c)}	CEM IV/A	65-89	-	11 - 35					-	-	-	0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36 - 55					-	-	-	0-5
CEM V	Kompoz çimento ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	-	18 - 30			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-49	-	31 - 49			-	-	-	-	0-5

^{a)} Çizelgedeki değerler ana ve minör ilave bileşenlerin toplamı ile ilgilidir.

^{b)} Silis dumanının oranı % 10'la sınırlanmıştır.

^{c)} Portland kompoz çimento CEM I/A-M ve CEM I/B-M'de, Puzolanlı çimento CEM IV/A ve CEM IV/B'de, Kompoz çimento CEM V/A ve CEM V/B'de klinkerin dışındaki diğer ana bileşenler çimentoaya ait işaretlerle beyan edilmelidir (Örneğin, Madde 8'e bakılmalıdır).

9

Resim 4.4 TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanmış çimento sınıfları.



Resim 4.5 Astek marka Otomatik Harç Karıştırma Cihazında harç hazırlanırken.

Daha önceden ince kalıp yağıyla iç kısmı yağlanmış olan üç gözlü çelik harç kalıbı, sarsma cihazına yerleştirildi. Harcın yarısı, kalıba her gözde eşit miktarda olacak şekilde yerleştirilip, büyük yayıcı ile düzleştirildi. 60 saniyede 60 vuruş yapacak şekilde programlanmış olan sarsma cihazında harcın kalıba yerleşmesi için 60 vuruş yaptırıldı. Ardından harcın diğer yarısı kalıp gözlerine yerleştirilip, küçük yayıcı ile düzleştirildi. Tekrar sarsma cihazında 60 vuruş yaptırılıp kalıplar cihazdan çıkartıldı. Kalıp yüzeyi

master ile sıyrılıp, harç yüzeyi düz bir hale getirilerek, üzeri cam plaka ile kapatıldı. Nisbi nemi min. %90, sıcaklığı $20\pm1^{\circ}\text{C}$ olan kür dolabına yerleştirildi.

Harç prizma numunelerinin döküm saatinden itibaren 24 saat sonra kalıplar sökülerek, 40x40x160 mm boyutlarındaki prizma betonlar numaralandırılarak kayıt altına alındı. Prizmalar $20\pm1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki kürlenme havuzuna tek tek yerleştirildi.



Resim 4.6 Sarsma cihazında harcın yarısı kalıba yerleştirilirken (solda). Harcın tamamı kalıba yerleştirilip ikinci 60 saniye vuruştan sonra (ortada). Kalıp yüzeyi master ile sıyrılıp harç yüzeyi düzleştirildikten sonra (sağda).

Prizmaların basınç dayanım testleri 2 gün, 7 gün ve 28 gün sonunda prizmalar kürlenme havuzundan çıkarılıp, havlu arasında birkaç dakika suyu alındıktan sonra, Astek marka basınç dayanım cihazında kırılarak yapılmıştır. Basınç dayanım test cihazı çalıştırıldıktan sonra prizma, kırma başlıkları arasına yerleştirilip önce bir tarafı, sonra diğer tarafı ayrı ayrı kırılarak, iki sonucun ortalaması kayıt altına alındı.



Resim 4.7 Cam plaka ile üzeri kapatılıp, krleme dolabına yerleştirilen prizma kalıpları (solda). Kalıptan ıkarılan prizma beton numuneleri (sağda).



Resim 4.8 Basınç dayanım test cihazında prizmalar kırılıp, basınç dayanımları ölçülürken.

Çalışmanın başlangıcında, katkı cinsi ve miktarına göre sınıflandırma yaptığımız numunelerin basınç dayanım sonuçları, bu sınıflandırmaya göre yani CEM I Sınıfı Portland çimento ve CEM II / A-L Sınıfı Portland Kalkerli çimento sınıflarına göre ayrı ayrı değerlendirilecektir. Ayrıca prizmaların basınç dayanımı değerlerine göre dayanım sınıfı da belirlenecektir. Bu sınıflandırma, TS EN 197-1:2012 Standardının “9.2.2.3 Niteliklere Göre Kontrol” bölümünde tanımlanan ve Resim 4.9 ‘da verilen, “Tek Sonuçlar İçin Sınır Değerleri” tablosuna göre yapılacaktır. Tablo üzerinde, prizmaların 2 gün ve 28 gün basınç dayanım sonuçlarının birlikte uygunluk sağladığı hücredeki dayanım sınıflandırması, o numunenin nihai çimento sınıfını belirleyecektir. Tablodaki L tipi çimentolar sadece CEM III sınıfı çimentolar için uygulanmakta olup, bu çalışmada hazırladığımız çimentolar için R veya N tipleri uygulanabilir durumdadır.

ICS 91.100.10

TÜRK STANDARDI

TS EN 197-1/Nisan 2012

Çizelge 10 - Tek sonuçlar için sınır değerleri

Özellik		Tek sonuçlar için sınır değerler								
		Dayanım sınıfı								
		32,5 L	32,5 N	32,5 R	42,5 L	42,5 N	42,5 R	52,5 L	52,5 N	52,5 R
Erken dayanım alt sınır değeri (MPa)	2 gün	-	-	8,0	-	8,0	18,0	8,0	18,0	28,0
	7 gün	10,0	14,0	-	14,0	-	-	-	-	-
Standard dayanım alt sınır değeri (MPa)	28 gün	30,0			40,0			50,0		
Priz başlangıcı alt sınır değeri (dakika)		60			50			40		
Genleşme üst sınır değeri (mm)		10								

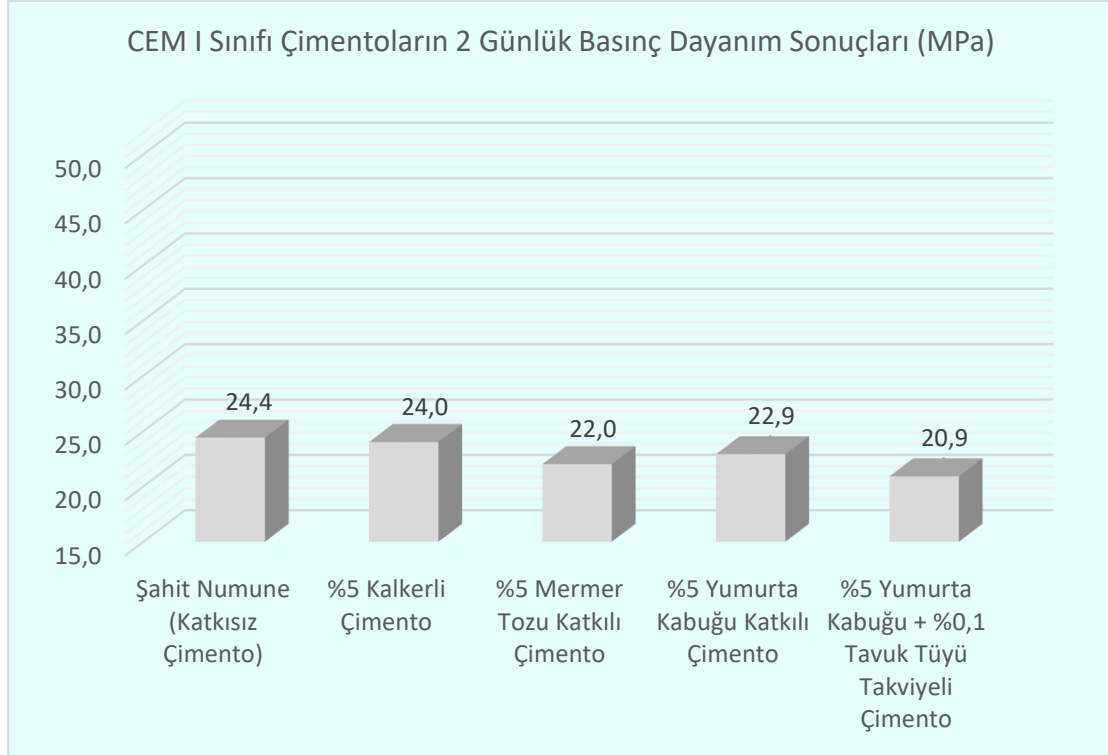
Resim 4.9 TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanmış çimento dayanım sınıfları.

4.9.1 CEM I Sınıfına Göre Basınç Dayanım Sonuçlarının değerlendirmesi

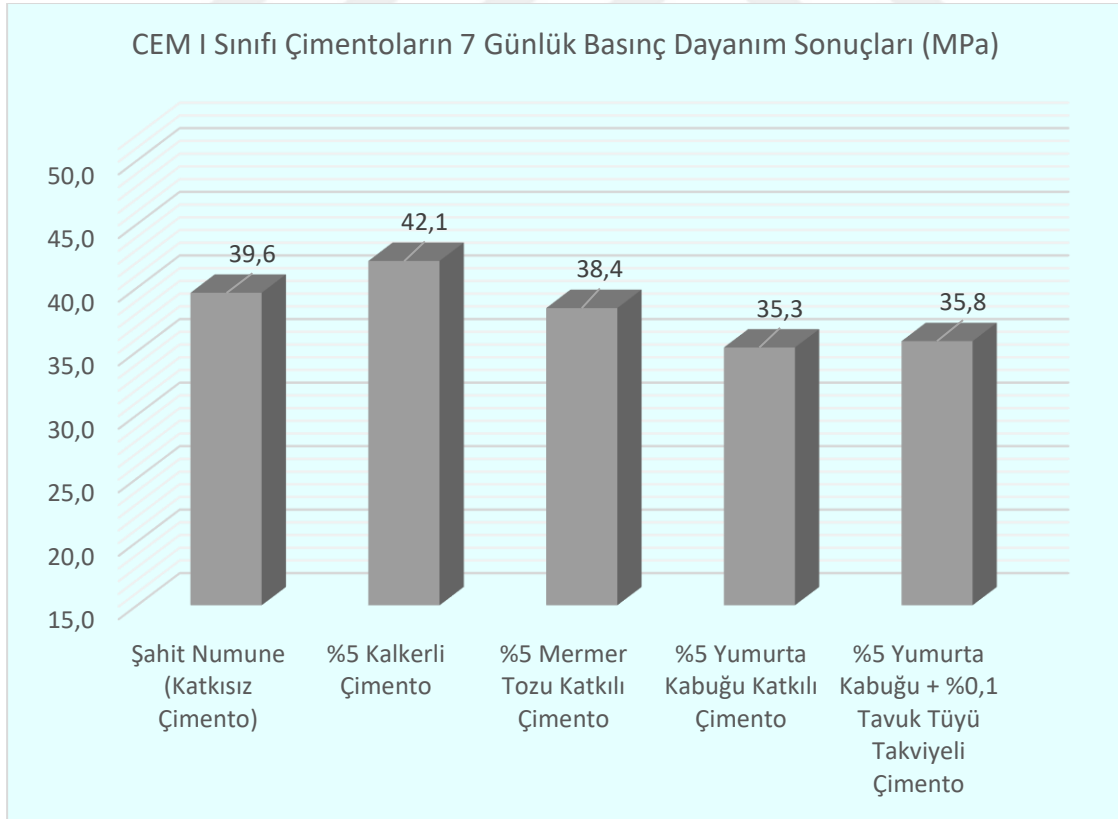
%5 ikame katkı ile CEM I sınıfında hazırlanan katkılı çimentolar ile şahit numunelerin 2 gün, 7 gün ve 28 gün basınç dayanımları grafik olarak aşağıda verilmiştir. Tüm basınç dayanımları incelendiğinde referans olarak hazırlanan şahit numuneye göre %5 katkı ikamesiyle en iyi performansı kalkerli çimento vermiş olup, 2 gün ve 28 günde şahit numuneye çok yakın, 7 günde ise daha fazla basınç dayanımı vermiştir. Mermer tozu katkılı çimento 2 günlük basınç dayanımında geride kalsa da, 7 gün ve 28 günde ikinci

en yüksek performansı gösteren çimento olmuştur. Hem yumurta kabuğu tozu katkılı, hem de yumurta kabuğu tozu tavuk tüyü takviyeli çimento numuneleri ise basınç dayanımlarında genel olarak nispeten düşük performans göstermiştir. %5 katkı ikamesinde yumurta kabuğu tozuna %0,1 tavuk tüyü takviyesi önemli bir performans artışı sağlamamıştır. Yumurta kabuğu katkılı tozu çimento numunesinin sadece 2 günlük basınç dayanımlarında mermer tozu katkılı çimentodan daha yüksek olması ise yumurta kabuğu tozunun tek başına bir miktar erken dayanım artırma özelliği olduğunu göstermektedir. Bu durum, düşük erken dayanıma sahip çimento üreten fabrikalarda ve sert kış iklimine sahip bölgelerdeki hazır betonların erken dayanım düşüşleri için yumurta kabuğu tozu katkısı kullanılarak avantaj sağlanabileceğini göstermektedir.

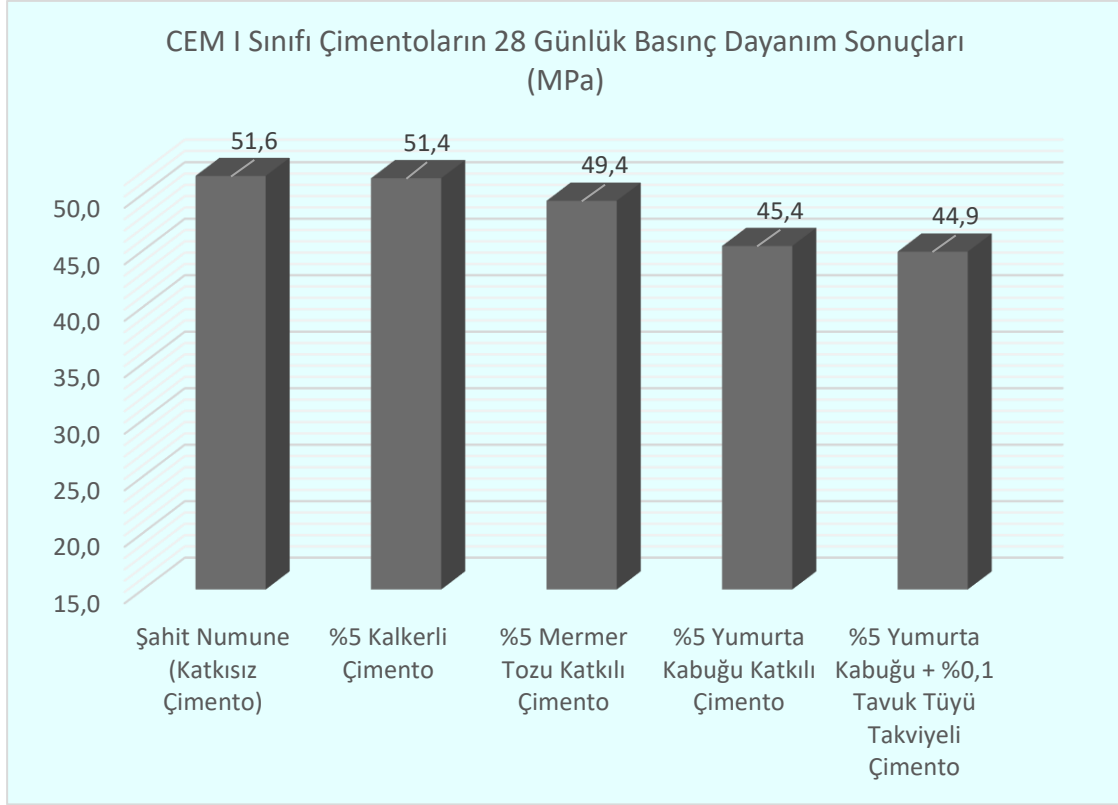
Deneylerden elde edilen basınç dayanım sonuçları; Resim 4.9 'da verilen TS EN 197-1:2012 Standardında tanımlanmış çimento dayanım sınıfları çizelgesinde (sayfa 53'de) verilen sınır değerlere göre değerlendirme yapılmıştır. İlgili çizelgede sağdan sola doğru, yüksek dayanım sınıfından başlanarak yapılan karşılaştırmada şahit numune 52,5 R dayanım sınıfı şartlarına uymamakla birlikte, 52,5 N dayanım sınıfı ile 42,5 R ve daha alt dayanım sınıflarına uygun olduğu görülmüştür. Bu durumda şahit numune CEM I 52,5 N veya CEM I 42,5 R çimento tipindedir. Yine kalkerli çimento da şahit numune gibi CEM I 52,5 N veya CEM I 42,5 R çimento tipindedir. Mermer tozu katkılı çimento ise 52,5 N dayanım sınıfı şartlarını sağlamadığı için, en yüksek performansla CEM I 42,5 R sınıfına girebilmektedir. Yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ile yumurta kabuğu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimentolar da 42,5 R dayanım sınıfı şartlarını sağlayarak CEM I 42,5 R sınıfında değerlendirilebilecektir. Türkiye'de piyasada en çok talep gören ve üretimi yapılan çimento tipi olan CEM I 42,5 R ürünü, %5 ikame yapıldığı takdirde kullanılan dört numuneyle de üretilebilecektir.



Şekil 4.4 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).



Şekil 4.5 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).

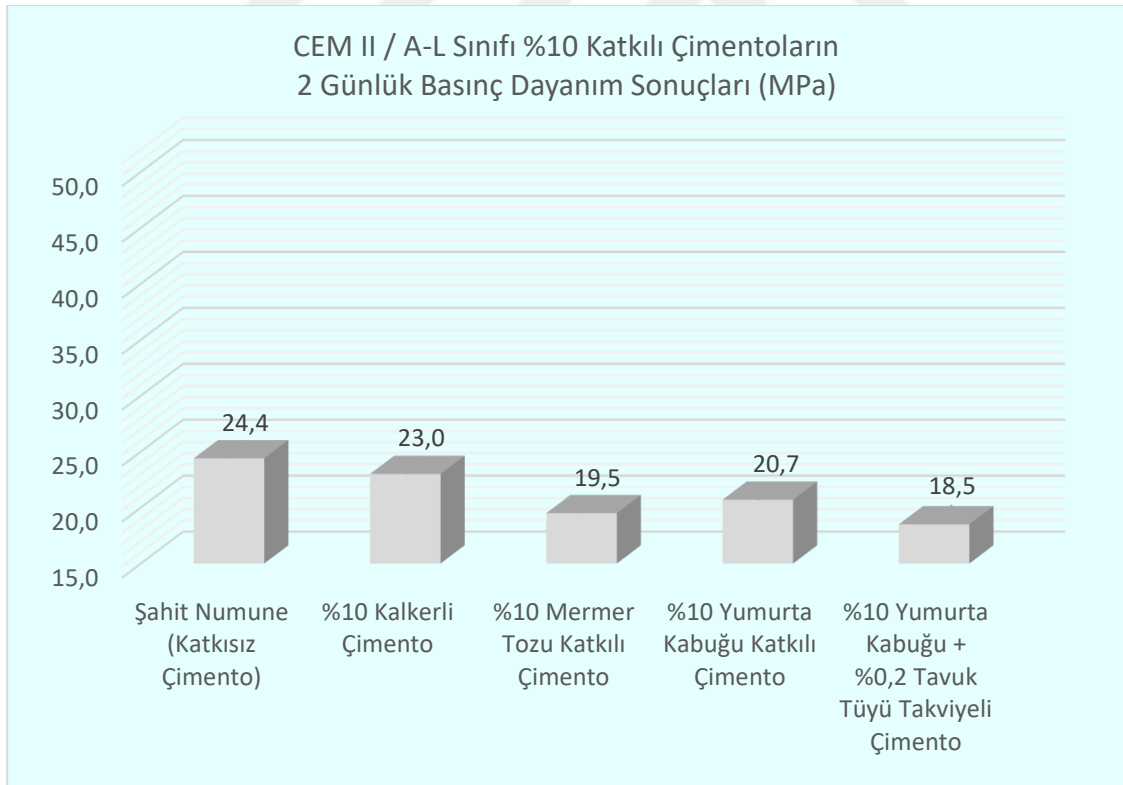


Şekil 4.6 CEM I Sınıfı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).

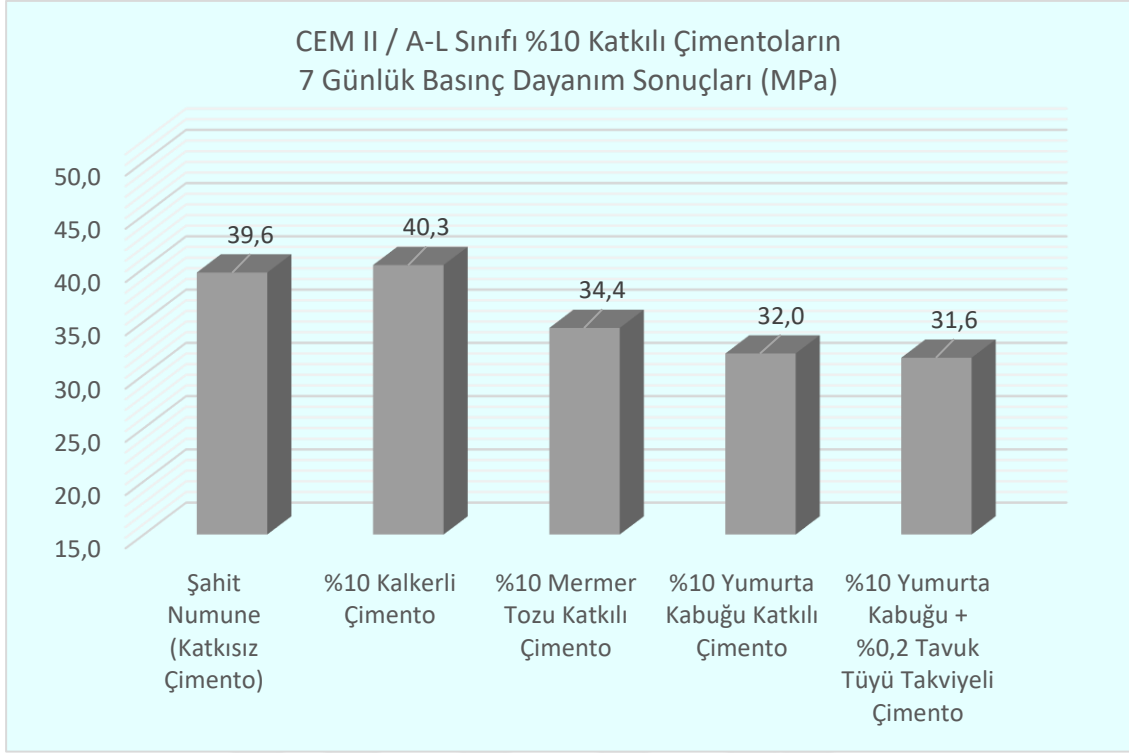
4.9.2 CEM II / A-L Sınıfına Göre Basınç Dayanım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şahit numune ile %10 katkı ikameli çimento numunelerinin Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 grafiklerinde verilen basınç dayanımları incelendiğinde kalkerli çimento, referans olan şahit numuneden sonra en yüksek basınç dayanımlı çimento olup, 7 günlük dayanımlarda yine şahit numunenin de önüne geçmiştir. Kalkerli çimentonun ardından 7 gün ve 28 gün dayanımlara göre en iyi performansı mermer tozu katkılı çimento göstermiş olmakla birlikte, 2 günlük dayanımda yumurta kabuğu tozu katkılı çimentonun gerisinde kalmıştır. Erken dayanım artırma özelliği yine önce çıkan yumurta kabuğu tozu katkılı çimento, 7 gün ve 28 gün dayanımlarda iyi bir performans göstermemiş olup, tavuk tüyü takviyeli çimento ile çok yakın dayanım sonuçları vermiştir. Yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento %10+0,2 ikame katkıda en düşük 2 günlük dayanım vermiş olsa da, bu kez 7 gün ve 28 gün dayanımlarda yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ile neredeyse birebir sonuçlar vermiştir.

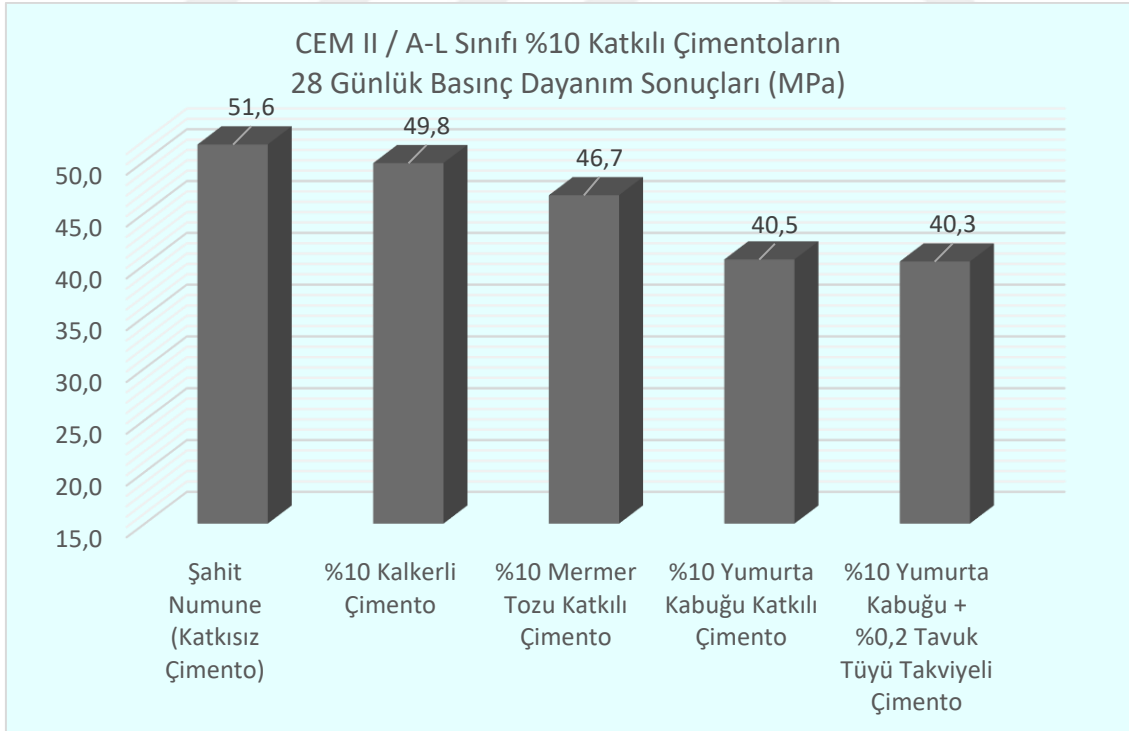
%10 ikame katkılı deneylerden elde edilen ve aşağıda grafik edilen (Şekil 4.7-8-9) basınç dayanım sonuçları, Resim 4.9'daki çizelgede sağdan sola doğru yüksek dayanım sınıfından başlanarak yapılan karşılaştırmalar yapılmıştır. %10 kalkerli çimento 52,5 N dayanım sınıfı şartlarını karşılayamazken 42,5 R dayanım şartlarını karşılayarak CEM II / A-L 42,5 R tipi çimento olduğu görülmektedir. Oysa %5 ikame katkıda 52,5 N dayanım sınıfı şartlarını da sağlayabilirken, katkı artışıyla dayanım sınıfı düşmüştür. %10 mermer tozu katkılı çimento ile birlikte %10 yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ve %10 yumurta kabuğu tozu %0,2 tavuk tüyü takviyeli çimentolar da yine 42,5 R dayanım sınıfı şartlarını sağladığı için CEM II / A-L 42,5 R tip çimentodur. Fakat %10 yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ve %10 yumurta kabuğu tozu %0,2 tavuk tüyü takviyeli çimentolar, 42,5 R dayanım sınıfı şartlarını az bir farkla sağlamaktadır. Bu yüzden, proseste yaşanacak olumsuz şartlara bağlı olarak yaşanabilecek 2 günlük dayanımdaki performans düşüşünde 42,5 N dayanım sınıfına, 28 günlük dayanımdaki performans düşüşünde ise 32,5 R dayanım sınıfına düşebilir.



Şekil 4.7 CEM II / A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).



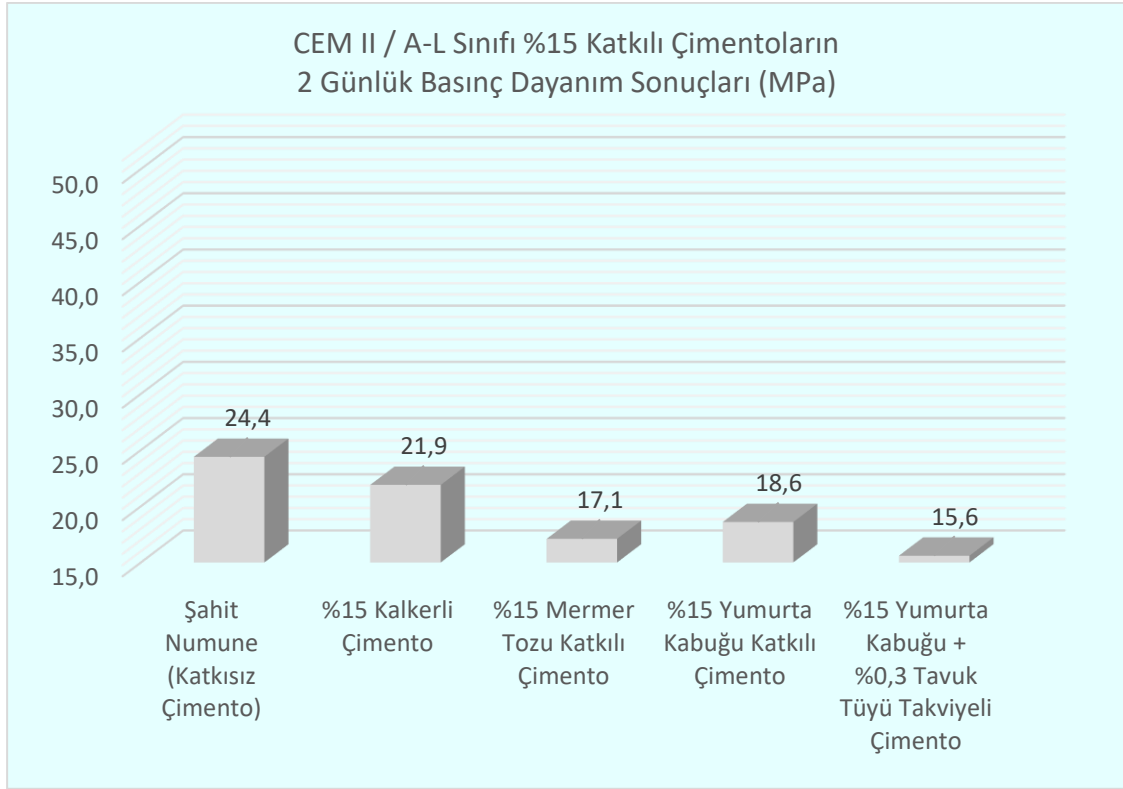
Şekil 4.8 CEM II / A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).



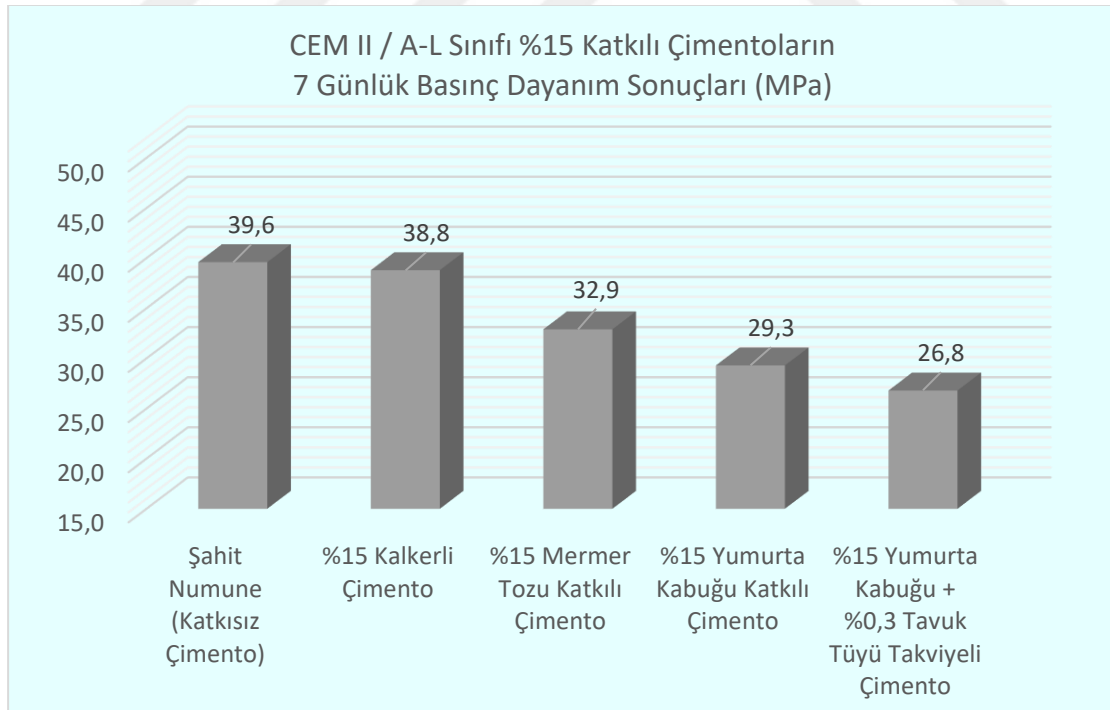
Şekil 4.9 CEM II / A-L Sınıfı %10 ikame katkılı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).

%15 katkılı ikame katkılı numunelerin Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 grafiklerinden basınç dayanım dayanımları incelendiğinde, 7 gün ve 28 gün dayanım performansları yüksekte düşüğe doğru sırayla kalkerli çimento, mermer tozu katkılı çimento, yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ve yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento olmuştur. 2 günlük dayanımda ise yumurta kabuğu tozu katkılı çimento yine erken dayanımı artırma özelliğiyle sıralamayı bozarak mermer tozu katkılı çimentonun önüne geçmiştir. %15 ikame katkı oranında, yumurta kabuğu tozu katkılı çimentoya verilen %0,3 tavuk tüyü takviye malzemesi basınç dayanımları açısından olumsuzluk yaratarak dayanımları daha fazla düşürmüştür.

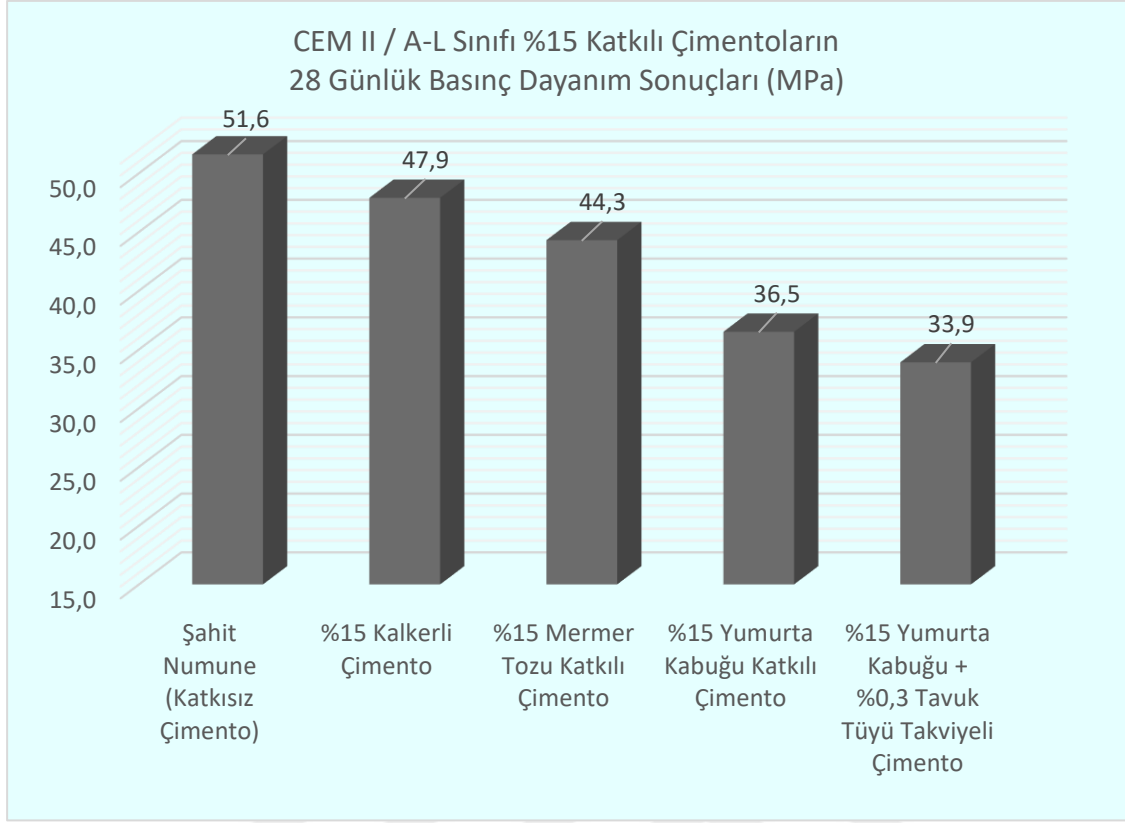
%15 ikame katkılı deneylerden elde edilen sonuçlar yine Resim 4.9 'daki çizelgede sağdan sola doğru yüksek dayanım sınıfından başlanarak yapılan karşılaştırmalarda, sadece kalkerli çimentonun 42,5 R dayanım sınıfında olduğu ve CEM II / A-L 42,5 R tip çimento olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Mermer tozu katkılı çimentonun 28 günlük dayanımı yeterli olsa bile, 2 günlük dayanımındaki fazla düşüşten dolayı 42,5 R dayanım sınıfı yerine 42,5 N dayanım sınıfına dahil olarak CEM II / A-L 42,5 N tipi çimento olmaktadır. Yumurta kabuğu katkılı tozu katkılı çimento ile yumurta kabuğu tozu katkılı %0,3 tavuk tüyü takviyeli çimentolar ise hem 2 gün hem de 28 gün dayanımlarındaki fazla düşüşlerden dolayı 32,5 R dayanım sınıfına dahil olmakta ve CEM II / A-L 32,5 R tip çimento olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 4.10 CEM II / A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 2 günlük basınç dayanımları (MPa).

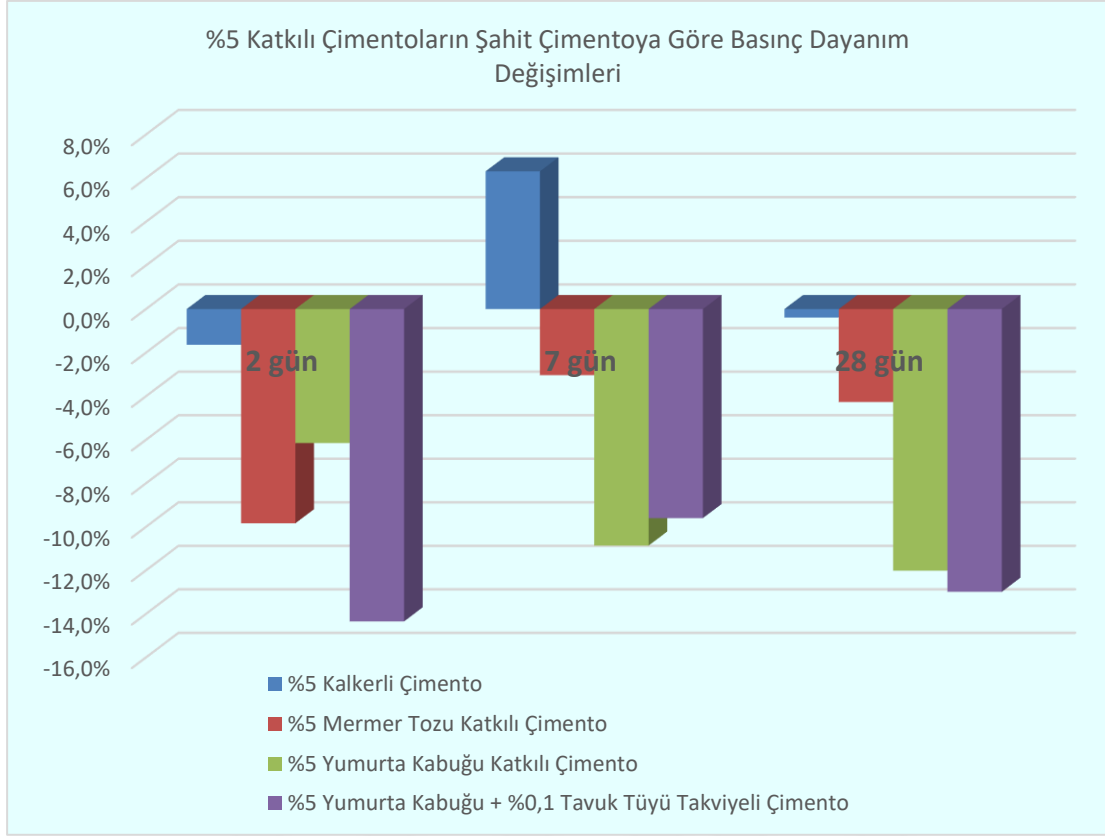


Şekil 4.11 CEM II / A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları (MPa).

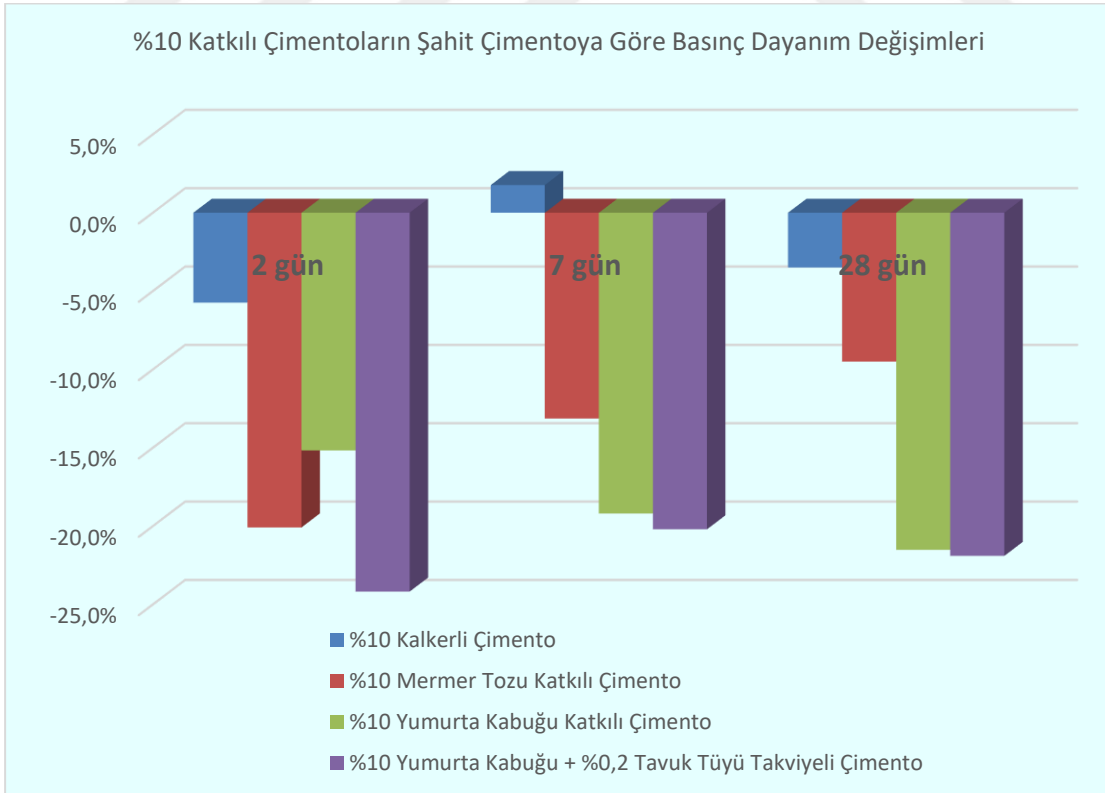


Şekil 4.12 CEM II / A-L Sınıfı %15 ikame katkılı çimento numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları (MPa).

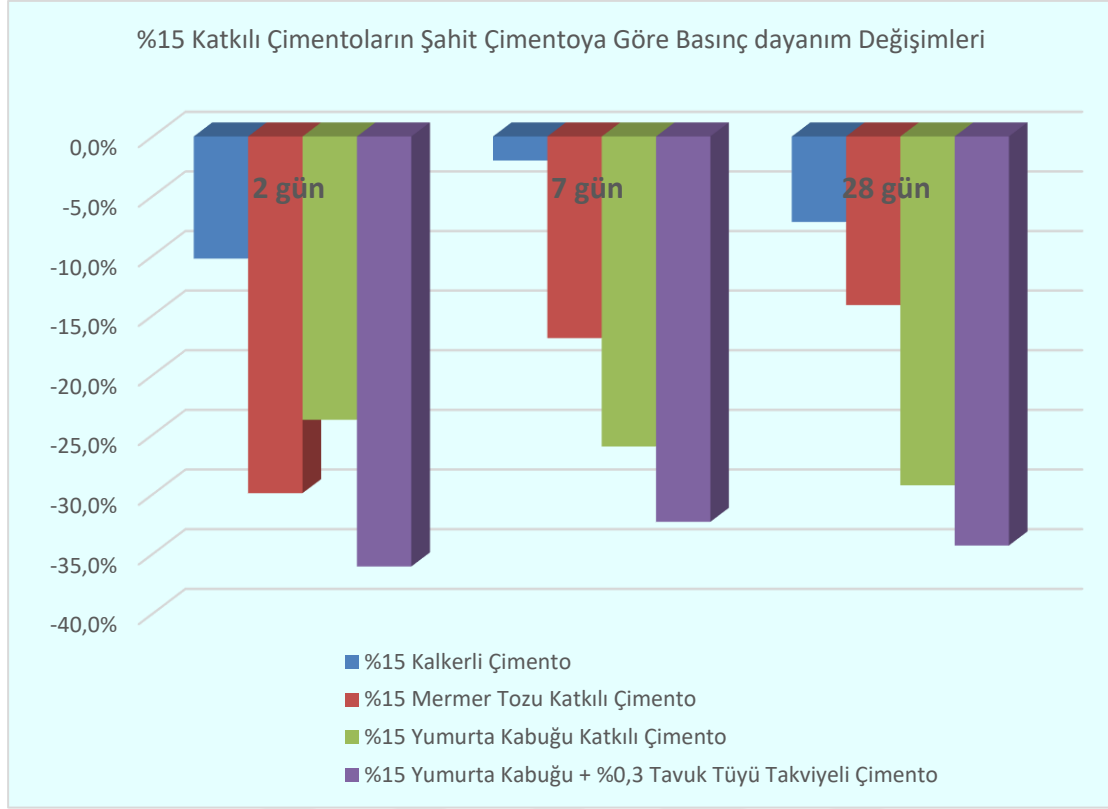
Katkılı çimentoların, şahit çimentoya göre her katkı oranlarında ayrı ayrı basınç dayanım değişimi grafikleri aşağıda Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 grafiklerinde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde şahit çimentoya ikame edilen tüm katkıların şahit çimentoya göre genellikle basınç dayanımlarını düşürdüğünü görülmektedir. Bununla birlikte her çimento sınıfında ikame katkı miktarı arttıkça basınç dayanımı düşüşünün arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 %5 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.



Şekil 4.14 %10 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.



Şekil 4.15 %15 katkılı çimentoların şahit çimentoya göre basınç dayanım değişimleri.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmanın ana amacı, yumurta kabuğu ve tavuk tüylerinin çimento ve betonda etkilerinin incelenerek, kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Çimentoya ikame edilmesi planlanarak birçok testler yapılmış ve ikame katkı olarak kullanılabilen kalker ve mermer tozu ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda, katkısız bir çimento numunesi (şahit numune) hazırlanarak, incelenmek istenen katkılar bu çimentoya farklı oranlarda ikame edilmiştir. Laboratuvar şartlarında, granül haldeki klinkerden başlanarak üretilen çimento numunelerinin, fiziksel, kimyasal ve mekanik testleri yapılarak, TS EN 197-1:2012 çimento standardında verilen kriterlere göre yeterlilik sağladıkları çimento sınıfları da belirlenmiştir. Böylelikle kısmen bir çimento üretim prosesinin laboratuvar şartlarında manuel olarak simülasyonu yapılmıştır.

Katkı miktarı sınıfına göre CEM I ve CEM II / A-L olarak iki grupta incelenen tüm çimento numunelerinin, kimyasal yönden ilgili çimento sınıfının asgari standart şartlarını karşıladıkları gözlenmiştir.

Harcın işlenebilirlik özellikleri incelendiğinde, en iyi performansı kalkerli çimento göstermiş olup, referans alınan şahit numuneyle aynı özellikleri göstermiştir. Katkı miktarı artmasına rağmen kıvamını korumuştur.

Mermer tozu katkılı çimento harcı ise katkı miktarının artışıyla hafif kıvam kaybı gösterse de genel olarak kalkerli çimento harcına yakın özellikler sergilemiştir. Ayrıca harcın su ihtiyacını düşürmeyi başarmıştır.

Yumurta kabuğu tozu katkılı çimento harcında su ihtiyacı referans şahit numuneye göre artmış ve kıvam düşmüştür. Katkı miktarının artmasıyla birlikte işlenebilirlik de düşmüştür. Yumurta kabuğu tozu öğütülürken ortaya çıkan sülfür benzeri yanık koku, %10 ve %15 katkılı çimentoların harcının hazırlanması esnasında da su verildikten sonra hafif derecede ortaya çıkmıştır.

Yumurta kabuğu tozuna tavuk tüyü takviyeli çimento harçlarında ise kıvama bağlı olarak su miktarı arttırıldığı halde çabuk kıvam kaybetmiş ve işlenebilirlik hayli zorlaşmıştır. Özellikle, %15 yumurta kabuğu tozuna %0,3 tavuk tüyü takviyeli çimento harcı kalıba yerleştirildiğinde bazı tüy fiberleri harç yüzeyinden ayrılarak kraterler oluşturmuştur. Harç yüzeyini düzleştirmek zorlaşırken, harçta yine hafif koku oluşumu izlenmiştir. Burada yaklaşık 10 mm boyutlarında kırılmış tavuk tüylerinin boyutlarının daha küçük olması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca kuru haldeki tavuk tüyleri, çok geniş yüzey alanına sahip olmasından dolayı su ihtiyacını da artırmıştır.

Yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimentoların, harcın kıvamı ve su ihtiyacından da anlaşılabacağı gibi, harçta da diğer numunelere kıyasla en kötü basınç dayanım performansı göstermiştir. Her katkı grubundaki karşılaştırmada en düşük basınç dayanım sonuçları vermiştir. Yumurta kabuğu tozu katkılı çimentoların basınç dayanımları ise tavuk tüyü takviyeli çimentolardan daha iyi olmasına karşın, 7 gün ve 28 gün basınç dayanımlarında kalkerli ve mermer tozu katkılı çimentoların gerisinde kalmıştır. Fakat 2 günlük basınç dayanımında mermer tozu katkılı çimentolardan daha yüksek basınç dayanımı vererek, erken dayanımı artırma özelliği olduğunu göstermiştir.

%5, %10 ve %15 olmak üzere üç katkı grubu ile ayrı ayrı yapılan basınç dayanım testlerinde en yüksek basınç dayanımlarını şahit numune vermiş olup, sıralama kalkerli çimento, mermer tozu katkılı çimento, yumurta kabuğu tozu katkılı çimento ve yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimento olarak devam etmiştir. Türkiye’de piyasada en çok tercih edilen ve en çok üretimi yapılan 42,5 R dayanım sınıfı çimento baz alındığında, kalker katkısı üç ikame oranında da rahatlıkla kullanılabilir. Mermer tozu katkısı, %15 katkı oranında erken dayanımı çok düşürerek 42,5 R dayanım sınıfı şartlarını sağlayamamıştır. %5 ve %10 katkı oranlarında 42,5 R dayanım sınıfında üretim yapılabilirken, %15 katkı oranında bir alt sınıf olan 42,5 N dayanım sınıfında üretim yapılabilir. Bunun muhtemel sebebi, depolama koşullarında mermer tozu bünyesine karışan kirlilik olabilir. Yumurta kabuğu tozu katkısı ile de %5 ve %10 katkı oranlarında 42,5 R dayanım sınıfında üretim yapılabilir. Ancak %15 katkı oranında 28 gün basınç dayanımı düşük kaldığı için 32,5 R dayanım sınıfına düşmektedir. Benzer şekilde yumurta kabuğu tozuna tavuk tüyü takviyesi ile yapılan %5+%0,1 ve

%10+%0,2 katkı oranlarında yine 42,5 R dayanım sınıfında, %15 katkı oranında ise 32,5 R dayanım sınıfında üretim yapılabilir. Dolayısıyla yumurta kabuğu ve tavuk tüyü ile rahatlıkla CEM I 42,5 R Portland çimentosu üretilebileceği ispatlanmıştır.

Hazırlanan harç numunelerinin priz süreleri incelendiğinde genel olarak katkı miktarı arttıkça priz süreleri uzamıştır. Fakat yumurta kabuğu tozu katkılı tavuk tüyü takviyeli çimentolarda ise diğerlerinin aksine, katkı miktarı arttıkça priz süreleri kısalmıştır. Bu da tavuk tüyü takviyesinin priz süresini azaltma etkisi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Katkı malzemelerinin hiç biri çimento harcında önemli bir hacim genişmesi yaratmamış ve uygunsuzluk oluşturmamıştır.

Çalışmanın ana amacı dikkate alınarak tüm sonuçlar değerlendirildiğinde,

- Yumurta kabuğunun ve tavuk tüylerinin rahatlıkla çimentoya ikame katkı olarak kullanılabileceği gözlenmiştir. Endüstriyel şartlarında, proses parametreleri optimum hale getirilerek daha iyi sonuçlar alınabileceği aşıkardır.
- Yumurta kabuğu tozu katkısı ve yumurta kabuğu tozu katkısına %0,1 tavuk tüyü takviyesi ile %5 katkı oranında CEM I 42,5 R sınıfı çimento, %10+%0,2 katkı oranında ise CEM II / A-L 42,5 R sınıfı çimento üretilerek, rahatlıkla harç hazırlanabileceği ve beton dökülebileceği laboratuvar şartlarında ispatlanmıştır. Ülkemiz piyasasında en çok tercih edilen ve en çok üretimi yapılan çimentolar 42,5 R dayanım sınıfındadır.
- Yumurta kabuğu tozu katkısı ve yumurta kabuğu tozu katkısına %0,3 tavuk tüyü takviyesi ile %15 gibi yüksek bir katkı oranında bile CEM II / A-L 32,5 R sınıfı çimento üretilebilecektir.
- Yumurta kabuğu tozu katkısı ve yumurta kabuğu tozu katkısına tavuk tüyü takviyesi ile laboratuvar şartlarında üretilen çimentoların basınç dayanım performansı, aynı şartlarda üretilen kalkerli çimento ve mermer tozu katkılı

çimentolara göre düşük kalmış olsa bile, işletme şartlarında proses parametreleri değiştirilerek daha yüksek performanslı çimento üretimi mümkündür.

- Yumurta kabukları, hazırlama aşamasında sıcak su altında elle yağ, protein artıkları ve zarlarından mümkün mertebe arındırılmıştır. Fakat öğütme esnasında ve yüksek katkı oranlı hazırlanan çimentonun harcından gelen koku, temizleme işleminin yetersizliğinden kaynaklanmış olabilir. Bu işlem, sürekli ve yüksek kullanım miktarlarında işletme şartlarında diğer katkı çeşitlerine göre ekstra iş yükü ve maliyet, hatta darboğaz oluşturabilecektir. Bu olası problem aşılarak daha iyi bir temizlik yapıldığı takdirde yumurta kabuklarından daha yüksek performanslar alınabilir.
- Yumurta kabuğu tozu tüm katkı oranlarında basınç dayanım testinde, 2 günlük dayanımlarda iyi bir performans göstererek erken dayanım artırma özelliğini ortaya çıkarmıştır. Bu da düşük erken dayanım sorunu yaşayan çimento fabrikaları ile beton üretim tesislerinde veya sert kış şartlarına bağlı olarak normalden daha fazla erken dayanım düşüşü yaşanan bölgelerde kullanımı ile düşük erken dayanım sorununu gidermeye yardımcı olacaktır.
- Çimentoda yumurta kabuğu tozuna, bağlayıcı lif (fiber) amacıyla tavuk tüyünün takviye malzemesi olarak kullanılması, beklenen basınç dayanım etkisini gösterememiştir. Bunun sebebi, kütlece çok düşük oranlarda kullanılmasına rağmen, 40x40x160 boyutlarındaki prizma içinde hem boyutsal olarak hem de hacim açısından fazla gelmiştir. Özellikle ince boyutlardaki standart cen kumu tanecikleri arasında çok geniş parçalar halinde kalmış ve harcın bütünlüğünü bozduğu için yeterli performans gösterememiştir. Bunun yerine, tavuk tüyleri 40x40x160 prizma betonlarında daha küçük boyutlarda kullanımında veya 150x150x150 mm boyutlu kalıplarda, agrega ile hazırlanmış hazır betonda aynı boyutlarda kullanımında çok daha iyi performans göstererek, bağlayıcı lif özelliğini ortaya çıkaracağı düşünülmektedir. Bununla birlikte tavuk tüyünün su emme etkisi dikkate alınarak 90 günlük basınç dayanımlarına bakılarak yapılacak karşılaştırmada daha olumlu sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir. Ayrıca

tavuk tüyünün harç içerisindeki fiber etkisinin tam olarak izlenebilmesi için eğilme dayanımı karşılaştırması yapılması daha doğru olacaktır. Laboratuvar şartları gereği hazırlanan numunelerin eğilme dayanımları incelenememiştir.

- Genel olarak çimentoda kullanılan tüm katkılarda, katkı oranının artmasıyla priz süresi uzarken, yumurta kabuğu tozuna yapılan tavuk tüyü takviye miktarı arttıkça priz süresi kısalmıştır. Bu da tavuk tüyü takviyesinin priz süresini kısaltma özelliğini ortaya çıkarmıştır. Proses şartları veya katkı miktarına bağlı olarak uzun priz problemi yaşayan çimento fabrikaları ile beton üretim tesislerinde veya sert kış şartlarına bağlı olarak uzun priz süresi yaşanan bölgelerde ve hatta hızlı priz istenen projelerde tavuk tüyü takviyesi kullanımı, bu sorunları gidermeye yardımcı olacaktır.
- Çimentoda kalker katkısı yerine mermer tozu veya yumurta kabuğu tozu kullanımıyla doğal kaynakların tüketimi azaltılarak atık bertarafıyla birlikte çevresel sorunları da önlemeye yardımcı olacaktır. Ayrıca fabrikalarda kalkerin ocaktan çıkartılması ve kırma işlemlerinden doğan işletme maliyetleri ile maden ocağı işletilmesinden doğan diğer yasal masraflar da önlenmiş olacaktır. Tavuk tüyünün kullanımı ise, yine çevresel sorunların önlenmesi yardımcı olmakla birlikte, fiber takviye özelliği ile betondaki donatı maliyetini düşüreceği bir gerçektir. Dolayısıyla doğal kaynakların tüketimi de azaltılmış olacaktır. Tüm bu atık katkıların kullanımı karbon emisyonunun düşürülmesine de oldukça büyük fayda sağlayacaktır.
- Çalışma esnasında yapılan tüm testler dikkate alındığında, yumurta kabuğu ve tavuk tüylerinin katkı olarak kullanılmasıyla, standartlara uygun bir şekilde çimento ve beton üretimi gerçekleştirilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Abdulmunem A, Samin P M, Sopian K, Hoseinzadeh S, Al-Jaber H A, Garcia D A, 2022, Waste Chicken Feathers Integrated with Phase Change Materials as New Inner Insulation Envelope For Buildings, *Journal of Energy Storage*, 56, Article number 106130.
- Acda M N, 2010, Waste Chicken Feather as Reinforcement In Cement-Bonded Composites, *Philippine Journal Of Science*, 139, 161-166.
- Ali M F, Hossain M S, Moin T S, Ahmed S, Chowdhury A M S, 2021, Utilization of Waste Chicken Feather For The Preparation of Eco-Friendly and Sustainable Composite, *Cleaner Engineering and Technology*, 4, Article number 100190.
- Arif S M, Rokiah O, Khairunisa M, Chong B W, Chek Y C, Youventharan D, vd., 2021, Compressive Strength of Concrete Containing Eggshell, Powder As Partial Cement Replacement, *Earth and Environmental Science*, 682, 1, Article number 012031.
- Aruntaş H Y, Gür M, Dayı M, Tekin İ, 2010, Utilization of Waste Marble Dust As An Additive In Cement Production, *Materials and Design*, 31, 4039-4042.
- Azmi M A M, Maridan N Q, Ramdzam M S H M, 2022, An Experimental Study On Concrete Strength Using Egg Shell Powder (ESP) As Partial Replacement of Cement, *Multidisciplinary Applied Research and Innovation*, 3, 193-199.
- Barrett T J, Sun H, Nantung T, Weiss W J, 2014, Performance of Portland Limestone Cements, *Journal of The Transportation Research Board*, 2441, 112-120.
- Borazan A A, Gokdai D, 2017, Polymer Composites Reinforced with Waste Marble Dust and Fibers From Chicken Feathers as an Alternative Material, *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 2095-2103.
- Bostancı C Ş, 2020, Use of Waste Marble Dust And Recycled Glass For Sustainable Concrete Production, *Journal of Cleaner Production*, 251, Article number 119785.

- Chandrakar R, Singh A, 2017, Cement Replacement In Concrete With Marble Dust Powder, International Research Journal of Engineering And Technology, 04, 1409-1411.
- Corinaldesi V, Moriconi G, Naik T, 2010, Characterization of Marble Powder For Its Use In Mortar and Concrete, Construction and Building Materials, 24, 113-117.
- Cömert A T, 2012, Uçucu Kül, Mermer Tozu Ve Endüstriyel Atık Kumu Yol Alt Yapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 25s, Sakarya.
- Doğan C, 2018, Mermer Tozu ve Endüstriyel Atık İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Afyon Karahisar.
- Gabol N A, Memon F A, Jawaduddin M, Zardari Z H, 2019, Analysis of Eggshell Powder As A Partial Replacing Material In Concrete, International Journal of Modern Research In Engineering and Manegement, 2, 22-31.
- Grzeszczyk S, Kupka T, Kalamraz A, Sudol A, Jurowski K, Makieieva N, vd., 2022, Characterization of Eggshell As Limestone Replacement and Its Influence On Properties of Modified Cement, Construction and Building Materials, 319, Article number 126006.
- Hordofa H, 2019, Experimental Investigation On Egghell Powder Blended Concrete, Addis Abeba Science and Technology University, The Department of Civil and Architectural Engineering, M.Sc. Thesis, 83p, Addis Abeba.
- Hossack A, Thomas M D A, Barcelo L, Blaire B, Delagrave A, 2014, Performance of Portland Limestone Cement Concrete Pavements, Concrete International, 36, 40-45.
- Ishak M Y, Zamani M N, 2020, Eggshell As The Partial Replacement of Portland Cement In The Production of Concrete, IopScience, Materials Science and Engineering, 849, Article number 012034.
- Jhatial A A, Sohu S, Memon M J, Bhatti N K, Memon D, 2019, Eggshell Powder As Partial Cement Replacement And Its Effect On The Workability and Compressive

- Strength of Concrete, International Journal Of Advanced And Applied Sciences, 6, 71-75.
- Kaur A, Bansal R S, 2015, Strength And Durabilty Properties of Concrete With Partial Replacement of Cement With Metakaolin And Marble Dust, International Research Journal Of Engineering And Technology, 04, 1032-1037.
- Kocatepe S, 2019, Tavuk Tüyü Liflerinden Ses Yalıtım Amaçlı Dokusuz Yüzey Yapılarının Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 237s, Kayseri.
- Kock J W, 2006, Physical and Mechanical Properties of Chicken Feather Materials, Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, M.Sc. Thesis, 101p, Atlanta.
- Langhah A A, Saand A, 2020, Strength Development of Concrete By Using Eggshell Powder As Partial Replacement of Cement, The Quest Research Journal, 18, 72-79.
- Li X F, Doh S I, Ramdhansyah P J, Hainin M R, Haziman W I M, 2021, Effect of Eggsell Powder On The Mechanical and Durability Properties of Cement Mortar, Conference Proceedings Of The Sustainable Concrete Materials And Structures In Construction 2020, 26 May 2021, Springer, 153-163.
- Manginsay G P, Cabahug R G, Nantung T, Weiss W J, 2015, Chicken Feathers as Substitute For Fine Aggregates In Concrete, Mindanao Journal of Science and Technology, 13, 109-131
- Mawlawizada N A, 2020, Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Elazığ.
- Mendoza R C, Grande J O, Acda M N, 2021, Effect of Keratin Fibers On Setting and Hydration Characteristics of Portland Cement, Journal of Natural Fibers, 18, 1801-1801.
- Moir G K, Kelham S, 1999, Developments In The Manufacture And Use Of Portland Limestone Cement, ACI International Conference, 1999, Malaysia, 797-820.

- Nandhini K, Karthikeyan j, 2022, Effective Utilization of Waste Eggshell Powder In Cement Mortar, *Materials Today: Proceedings*, 61, 428-432.
- Oza R B, Kangda M Z, Ageawal M R, Vakharia P R, Solanki D M, 2022, Marble Dust As A Binding Material In Concrete, *Material Today: Proceedings*, 60, 421-430.
- Panesar D K, Zhang R, 2020, Performance Comparison of Cement Replacing Materials In Concrete: Limestone Fillers and Supplementary Cementing Materials – A Review, *Constuction And Building Materials*, 251, Article number 118866.
- Rid Z A, Shah S N R, Memon M J, Jhatial A A, Keerio M A, Goh W I, 2022, Evaluation of Combined Utilization of Marble Dust Powder and Fly Ash On The Properties And Sutainability Oof High-Strength Concrete, *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 28005-28019.
- Sathiparan N, 2021, Utilization Prospects of Eggshell Powder In Sustainable Construction Material, *Construction and Building Materials*, 293, Article number 123465.
- Selim F A, Hashem F S, Amin M S, 2020, Mechanical, Microstructural and Acid Resistance Aspects of Improved Hardened Portland Cement Pastes Incorporating Marble Dust and Fine Kaolinite Sand, *Construction and Building Materials*, 251, Article number 118992.
- Sezer İ, 2007, Kalker Ve Klinker Özelliklerinin Kalkerli Çimento Özelliklerine Etkisi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 181s, İzmir.
- Shah V, Bishnoi S, 2015, Use of Marble Dust As Clinker Replacement In Cements, *Advances In Structural Engineering*, 3, 1717-1724.
- Shaker F, Rashad A, Allam M, 2017, Properties of Concrete Incorporating Locally Produced Portland Limestone Cement, *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 2301-2309
- Sharma U, Gupta N, Saxena K K, 2021, Comparative Study On The Effect of Industrial By-Products as A Replacement of Cement In Concrete, *Materials Today: Proceedings*, 44, 45-51.

- Sutarno S, Rahmawati D, Masvika H, 2021, Effect of Chicken Feather Waste On The Concrete Mixing On Compressive Strength and Flexural Strength, Jurnal Rekayasa Sipil, 10, 162-172.
- Tan Y Y, Doh S I, Chin S C, 2018, Eggshell As A Partial Cement Replacement In Concrete Development, Magazine Of Concrete Research, 70, 662-670.
- TS EN 196-1:2016, 2016, Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-2:2013, 2013, Çimento Deney Yöntemleri – Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-3:2017, 2017, Çimento Deney Yöntemleri – Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-6:2020, 2020, Çimento Deney Yöntemleri – Bölüm 6: İncelik Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1:2012, 2012, Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Vardhan K, Goyal S, Siddique R, Singh M, 2015, Mechanical Properties and Microstructural Analysis of Cement Mortar Incorporating Marble Powder As Partial Replacement of Cement, Construction and Building Materials, 96, 615-621.
- Vasudevan G, Wei S C, 2020, Utilisation of Eggshell Powder (ESP) As Partial Replacement of Cement Incorporating Superplasticizer, International Conference An Materials Engineering And Nano Sciences 2020, 13-15 March, Pattaya.
- Yamanel K, 2015, Kayseri Yöresi Atık Mermer Tozu Katkılı Harçların Özelliklerinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51s, Kayseri.
- Yıldız T, 2012, Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Elazığ.

İnternet Kaynakları

1- <https://www.tuik.gov.tr/>, 02.03.2023

2- <https://tekstilbilgi.net/tavuk-tuyu-ve-ozellikleri.html>, 31.01.2022



Yayınları (SCI ve diğer) :

Dilek İ G, 2017, Manyezit Cürufunun Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanımı, Çimento Ve Beton Dünyası, 125, 67-73.

Dilek İ G, 2017, Manyezit Cürufunun Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanımı, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton İstanbul 2017 Kongresi, Makale No 2017-107-TM.

