



**BİNA YIKINTI ATIKLARININ HARÇ KARIŞIMINDA AGREGA OLARAK
KULLANABİLİRLİĞİ**

Hiba Fateh Shakir QASSAB

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Hiba Fateh Shakir QASSAB tarafından hazırlanan “BİNA YIKINTI ATIKLARININ HARÇ KARIŞIMINDA AGREGA OLARAK KULLANABİLİRLİĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Öğr. Üyesi. Dr. Mustafa DAYI

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 19/09 /2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hiba Fateh Shakir
Qassab

19/09/2019

BİNA YIKINTI ATIKLARININ HARÇ KARIŞIMINDA AGREGA OLARAK KULLANILIRLIĞI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hiba Fateh Shakir QASSAB

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bina ve yıkıntı atıklarının geri kazanılması, ülke ekonomisine ve çevreye faydası nedeni ile gittikçe bir araştırma konusu haline gelmiştir. Geri dönüştürülmüş malzeme, hem çevre kirliliğini azaltmakta hem de doğal kaynakların korunmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda geri dönüşüm yeni nesle çevre koruma bilinci kazandırmaktadır. Bu çalışmada; tuğla ve kiremit atıklarının harç karışımında ince agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu maksatla çimento ve sönmüş kireç bağlayıcı olarak kullanılarak çimento harçları ve takviyeli (melez) harçlar üretilmiştir. İnce agrega olarak doğal dere kumu ile tuğla ve kiremit atıkları kırılarak elde edilen tuğla kumu ve kiremit kumu kullanılmıştır. Araştırma çerçevesinde önce CEM I çimentosu ve CL70 sönmüş kireç hamurunun kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genleşmesi deneyleri yapılmıştır. Doğal agrega ve geri dönüşüm ince agregaların elek analizi, yoğunluk ve su emme deneyleri yapılmıştır. Harçların s/ç oranları, yayılma tablası ile her karışım için tespit edilmiştir. Geri dönüşüm ince agregalar; %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında doğal agrega ile ikame edilmiştir. Aynı zamanda kiremit kumu %25, %50 ve %75 oranlarında tuğla kumu ile karıştırılmıştır. Böylece toplam 24 adet harç karışımı elde edilmiştir. Hazırlanan çimentolu prizmatik numuneler su havuzunda, kireçli numuneler ise nemli bir kür kabinde 7, 28 ve 90 gün bekletilmiştir. Sertleşmiş harç numuneler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak; geri dönüşüm ince agregaların yoğunluğu ve su emme oranları doğal agregadan daha yüksek çıkmıştır. CEM I çimento hamurunun genleşmesi ve kıvam suyu değerleri, takviyeli hamura göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Hamurların priz sürelerinde ise, takviyeli hamurların çimentolu hamurlara göre daha geç priz aldığı belirlenmiştir. %100 CEM I harcın eğilme ve basınç dayanımları, %30 sönmüş kireç (CL70) kullanılan takviyeli harca göre daha yüksek elde edilmiştir. %100 CEM I harcın kılcal su emme ve su emme oranları, %30 sönmüş kireç içeren takviyeli harçlardan daha yüksek tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91127
Anahtar Kelimeler : Harç, Doğal Kum, Geri Dönüşüm, İnce Agrega, Çimento, Kireç, Tuğla Kumu, Kiremit Kumu.
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Prof. Dr. H. Yılmaz Aruntaş

USABILITY OF BUILDING DEBRIS WASTES AS FINE AGGREGATE IN MORTAR
MIXTURE
(M.Sc Thesis)

Hiba Fateh Shakir QASSAB

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
September 2019

ABSTRACT

Recycling of building and debris wastes has become an area of research due to its benefit to the national economy and environment. The recycled material not only reduces environmental pollution but also protects natural resources. Recycling also raises awareness regarding the environment protection for the new generations. In this study, the usability of brick and tile wastes as fine aggregates in mortar mixture was investigated. For this purpose, cement mortar and cement-lime mortars were produced using cement and slacked lime as binding agents. Natural fine aggregate (stream sand) and brick and tile wastes were broken and the obtained brick sand and tile sand were used as fine aggregates. Within the frame of the research, consistency water, setting times and volume expansion tests of CEM I cement and CL70 slacked lime paste were firstly carried out. Sieve analysis, density and water absorption tests of natural aggregates and recycled fine aggregates were performed. The w/c ratios of mortars were also determined for each mixture with the flow table. Natural fine aggregates in mortar were replaced with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of recycled fine aggregates. At the same time, tile sand was replaced with brick sand with 25%, 50% and 75% ratios. Thus, a total of 24 mortar mixtures were obtained. The prepared cement mortar prismatic samples were kept in water curing and cement-lime mortar samples were kept in a moist curing cabinet for 7, 28 and 90 days. Flexural strength, compressive strength, water absorption and capillary absorption tests were performed on the hardened mortar samples. As a result; it was found that the density and water absorption ratios of recycled fine aggregates were higher than that of natural fine aggregate. When compare prepared pastes for setting times with each other, it was determined that setting times of cement-lime pastes were increased than that of CEM I paste. Flexural and compressive strengths of 100% CEM I mortar were obtained higher than that of cement-lime mortars. Capillary absorption and water absorption ratios of 100% CEM I mortar were determined higher than that of cement-lime mortar. The expansion and consistency water values of CEM I cement paste were found less than that of cement-lime pastes.

Science Code : 91127
Key Words : Mortar, Natural Sand, Recycled, Fine Aggregate, Cement, Lime, Brick Sand, Tile Sand.
Number of Pages : 67
Thesis Advisor : Prof. Dr. H. Yılmaz Aruntaş

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi, öneri ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışmanım Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım; Melih ŞAHİNÖZ'e ve gerekli materyallerin temininde ve teknoloji Fakültesi inşaat mühendisliği Bölümü yapı malzeme Laboratuvarlarından her zaman destek olan Sayın Osman AYDIN'a teşekkür ederim. Beni her zaman destekleyen ve yanımda maddi ve manevi duran aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm	3
2.2. İnşaat Atıklarının Yönetimi	4
2.3. İnşaat Atıklarının Hazırlanması	5
2.4. Geri Dönüşüm Agregası.....	6
2.4.1 Geri dönüşmüş agreganın tarihçesi	6
2.4.2. Dünyada geri dönüşüm agreganın kullanımı	7
2.5. AB Devletlerinde İnşaat Atıklarının Değerlendirmeye ile İlgili Çalışmalar.....	8
2.6. Türkiye’de Geri Dönüşüm Agrega	9
2.7. Tuğla ve Kiremit Atıkları.....	9
2.7.1. Tuğla ve kiremit malzemelerinin tarihçesi	9
2.7.2. Tuğla ve kiremit endüstrisi.....	10
2.7.3 Tuğlanın endüstri atığı olarak yeri	10
2.8. Harçlar.....	12
2.8.1. Harçların tanımı.....	12
2.8.2. Harçların sınıflandırması.....	12

	Sayfa
2.8.3. Harçların yapılarda kullanım yerleri	13
2.8.4. Harç çeşitleri	13
2.8.5. Harcın bileşenleri	14
2.8.6. Bağlayıcı ve bağlayıcı çeşitleri	14
2.8.7. Harçların özellikleri.....	14
2.9. Geri Dönüşüm İnce Agreganın Harçta Kullanımı İle İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. İnce agrega	19
3.1.2. Çimento	20
3.1.3. Kireç	21
3.1.4. Karışım suyu	21
3.2. Metot	22
3.2.1. İnce agrega deneyleri	23
3.2.2. Hamur Deneyleri	26
3.2.3. Numunelerin üretimi, boyutları ve kodlanması.....	30
3.2.4. Taze harç deneyleri	32
3.2.6. Sertleşmiş harç deneyleri	34
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Agrega Özellikleri.....	39
4.1.1. Elek analizi.....	39
4.1.2. Yoğunluk.....	40
4.1.3. İncelik modülü.....	41
4.1.4. Mineralojik analiz	41
4.1.5. Mikroskobik analiz.....	42

	Sayfa
4.2. Çimento ile Çimento + Kireç Hamurunun Özellikleri.....	44
4.3. Yayılma Tablası (İşlenebilirlik)	45
4.4. Taze Harçta Birim Hacim Ağırlık.....	46
4.5. Sertleşmiş Harçta Birim Hacim Ağırlık.....	47
4.6. Harçların Eğilme Dayanımı	49
4.7. Harçların Basınç Dayanımı	52
4.8. Harçlarda Kapiler Su Emme	56
4.9. Harçlarda Su Emme Oranı	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tuğla ve kiremit kumunun kimyasal analizi	20
Çizelge 3.2. CEM I çimentosunun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri	21
Çizelge 3.3. CL70 sönmüş kirecin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri	21
Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan harç karışım oranları.....	22
Çizelge 3.5. İncelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelik hesaplama tablosu.....	24
Çizelge 3.6. %100 Ç harcı karışım miktarları.....	30
Çizelge 3.7. %70 Ç + % 30 K harcı karışım miktarları	30
Çizelge 4.1. Doğal kum ve geri dönüşüm kumların elek analizi değerleri.....	40
Çizelge 4.2. Doğal ve geri dönüşüm kumların yoğunluk ve su emme deney sonuçları	40
Çizelge 4.3. Harç karışımında kullanılan her üç kuma ait incelik modülü değerleri.....	41
Çizelge 4.4. TK ve KK'nin mineralojik analiz sonuçları	42
Çizelge 4.5. %100 Ç ve %70Ç + %30K hamurlarının fiziksel özellikleri	44
Çizelge 4.6. %100 Ç harcının yayılma tablası değerleri.....	45
Çizelge 4.7. %70 Ç +%30 K harcının yayılma tablası değerleri	45
Çizelge 4.8. %100 Ç ve %70 Ç +%30 K harcın birim hacim ağırlık sonuçları.....	46
Çizelge 4.9. %100 Ç ve 70 Ç +%30 K harcın sertleşmiş birim hacim ağırlık sonucu ...	48
Çizelge 4.10. %100 Ç harcın eğilme dayanımı sonuçları	50
Çizelge 4.11. %70 Ç+ %30 K harcın eğilme dayanımı sonuçları	50
Çizelge 4.12. %100 Ç harcın basınç dayanımı sonuçları.....	53
Çizelge 4.13. %70 Ç +%30 K harcın basınç dayanımı sonuçları	53
Çizelge 4.14. %100 Ç harcın kapiler su emme ve kılcallık katsayısı değerleri.....	56
Çizelge 4.15. %70 Ç+% 30 K harcın kapiler su emme oranı ve kılcallık katsayısı sonuçları.....	57
Çizelge 4.16. %100 Ç ve %70 Ç+%30 K harcın su emme oranları	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. İnşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçlar.....	5
Şekil 2.2. 2008 ve 2009 yıllarında agrega üretim miktarındaki değişiklikler	8
Şekil 3.1. Cihazın eğilme deney aparatı bölümündeki numunenin şematik hali	35
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan ince agregalara ait granülometre eğrileri	39
Şekil 4.2. TK'ye ait XRD eğrisi.....	41
Şekil 4.3. KK'ye ait XRD eğrisi	42
Şekil 4.4. %100Ç harçlarının taze birim hacim ağırlık grafiği	47
Şekil 4.5. %70Ç +%30K harçlarının taze birim hacim ağırlık grafiği	47
Şekil 4.6. %100Ç harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlık grafiği	49
Şekil 4.7. %70Ç + %30K harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlık grafiği	49
Şekil 4.8. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının 7 günlük eğilme dayanımı grafiği	51
Şekil 4.9. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının 28 günlük eğilme dayanımı grafiği ...	52
Şekil 4.10. 100% Ç ve %70 Ç +%30 K harçlarının 90 günlük eğilme dayanımı grafiği	52
Şekil 4.12. %100 Ç ve %70Ç + %30K'nin 28 günlük basınç dayanımları	55
Şekil 4.13. %100 Ç ve %70Ç + %30K'nin 90 günlük basınç dayanımları	55
Şekil 4.16. 100% Ç ve %70 Ç +%30 K harcın kılcallık katsayısı grafiği	58
Şekil 4.17. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının su emme oranı grafiği.....	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. (a,b) İnşaat yıkıntıları	7
Resim 2.2. (a,b) Kiremit ve tuğla atıkları	12
Resim 3.1. (a,b)Tuğla kumu elde etmek için kullanılan çeneli kırıcı.	20
Resim 3.2. Harç yapımında kullanılan doğal kum ve geri kazanılmış Agrega (TK +KK) numuneleri.	20
Resim 3.3. Elek serisi.....	23
Resim 3.4. (a,b) Kum yoğunluk deneyinin yapılışı	24
Resim 3.5. (a,b) Kum yoğunluk deneyinde kullanılan piknometre ve hassas terazi	25
Resim 3.6. Hamur numunede normal kıvam deneyi için Vicat aleti ve sondası	27
Resim 3.7. (a,b) Vicat aleti ve iğnesi kullanılarak yapılan priz deneyi	32
Resim 3.8. (a,b) Le Chatelier aleti ve deney numuneleri.....	27
Resim 3.9. Deneyde kullanılan kaynatma kabı.....	28
Resim 3.10. (a,b) 50x50x50 mm küp harç ve 40x40x160 mm boyutlu prizmatik harç kalıpları.....	29
Resim 3.11. (a,b) Kodlanmış harç numuneleri ve kireçli harçlar için nemli kür kabini	29
Resim 3.12. (a,b) Yayılma tablası ve kesik koninin doldurulması	23
Resim 3.13. (a,b) Yayılma Tablası ve ölçüm Şekli	25
Resim 3.14. Taze harç birim hacim ağırlık deneyinde numunenin tartılması	24
Resim 3.15. Eğilme dayanımının uygulanma şekli.....	33
Resim 3.16. Harç numunede basınç dayanımı deneyi	33
Resim 3.17. Kılcallık katsayısı ve kapiler su emme deneyi numuneleri	34
Resim 4.1. (a,b,c,d) KK mikroskopik analiz.....	36
Resim 4.2. (a,b,c,d) TK mikroskopik analiz	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur:

Simgeler	Açıklamalar
Al₂O₃	Alüminyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
Cl	Klor
CO₂	Karbondioksit
Fe₂O₃	Demir oksit
g	Gram
K₂O	Potasyum oksit
kg	Kilogram
m³	Metreküp
MgO	Magnezyum oksit
MnO	Manganez oksit
Na₂O	Sodyum oksit
P₂O₅	Fosfor penta oksit
SiO₂	Silisyum oksit
SO₃	Kükürt trioksit
TiO₂	Titanyum oksit

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	American Society for Testing Materials
Ç	Çimento
Ç+K	Çimento + sönmüş kireç
dk	Dakika

Kısaltmalar**Açıklamalar****DK**

Doğal dere kumu

DK100

%100 doğal dere kumu

DK25+KK75

%25 doğal dere kumu+%75 kiremit kumu

DK50+KK50

%50 doğal dere kumu+%50 kiremit kumu

DK75+KK25

%75 doğal dere kumu+%25 kiremit kumu

DK25+TK75

%25 doğal dere kumu+%75 tuğla kumu

DK50+TK50

%50 doğal dere kumu+%50 tuğla kumu

DK75+TK25

%75 doğal dere kumu+%25 tuğla kumu

DYK

Doygun yüzey kuru

İBB

İstanbul Büyükşehir Belediyesi

K

Kireç

KK

Kiremit kumu

KK100

%100 kiremit kumu

mm

Milimetre

PÇ

Portland çimentosu

S

Saniye

TK

Tuğla kumu

TK100

%100 tuğla kumu

TK25+KK75

%25 tuğla kumu+%75 kiremit kumu

TK50+KK50

%50 tuğla kumu+%50 kiremit kumu

TK75+KK25

%75 tuğla kumu+%25 kiremit kumu

TS

Türk standardı

UK

Uçucu kül

%100 Ç

%100 Çimento

% 70 Ç + % 30 K

% 70 Çimento + % 30 Kireç

1. GİRİŞ

Bir inşaat projesinin uygulanması ile birlikte hafriyat toprakları ve inşaat molozları gibi atıklar oluşmaya başlamaktadır. İnşaat atıklarının bir kısmı geri dönüşüme gönderilerek tekrar kullanıma kazandırılırken, bir kısmı da depolama alanı içerisinde değerlendirilmektedir. Geri dönüşen ürünlerde inşaat ve bina yıkıntıları ikinci bir hammadde olarak kullanılabilir. Geri dönüşüm tesisleri olarak; mobil, yarı mobil ve sabit olmak üzere üç farklı tesisin kullanıldığı görülmektedir. Geri dönüşümden elde edilen malzemeler inşaat sektöründe değerlendirmektedir [1].

Kum, doğal bir ince agrega olup ocak ve dere malzemelerinin tipik bir örneğidir. Kum ve çakılın bir arada bulunduğu malzemelere tüvanan agrega denir. Genel olarak derelerden ve eski dere yataklarından oluşan kum ocaklarından sağlanmaktadır.

Oksijen ve suyun olmadığı durumda yaşam sürdürülemez. Kum inşaat sektörünün en önemli malzemelerinden biridir. Hayatın hızından o da nasibini almaktadır. Beton; çimento, kum, çakıl ve suyun karıştırılmasıyla elde edilir. Her bir birim çimentonun betona dönüşebilmesi için bunun 6-7 katı kadar kum ve çakıl gerekmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'na göre, beton üretimi için harcanan kumu hesaplamanın dolaylı yolu, dünya genelinde üretilen çimento miktarının tamamının beton yapımında kullanıldığını varsayıp bunun için gereken kum miktarını hesaplamaktır. UNEP'e göre, 2012 yılında 26~29 milyar ton arasında kum ve çakıl sadece beton üretiminde kullanılmıştır. 2016 yılında bu rakamın 30~33 milyar tona çıkacağı hesaplanmıştır [2].

Türkiye'de her yıl yaklaşık 250.000 ton kiremit atığı oluşmaktadır. Kiremit atıklarının büyük bir kısmı yeniden üretime katılmakta, diğer bölümü ise depolanarak çevre kirliliği önlenirken ekonomiye de katkı sağlanmaktadır. Endüstriyel olarak tuğla ve kiremit üretiminin artması, birçok problemleri de beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin en önemlisi, üretimden geriye kalan atıklardır. Tuğla ve kiremitte gerek üretim aşamasında gerekse taşıma işlemleri sırasında kırılmalar oluşmaktadır. Kırılmalar sonucu oluşan parçalar atık olarak ayrılmaktadır. Tuğla ve kiremit atıklarının fabrika dışına taşınarak depolanması, hem tarım arazilerinin bozulmasına hem de ülke ekonomisinin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Bozulan tarım arazilerinin tekrar eski halini

alabilmesi ve kendini yenileyebilmesi için binlerce yıl geçmesi gerekmektedir. Bu durumda kısaca toprağın ekolojik dengesi bozulmaktadır [3].

Bir yandan tükenen doğal kum kaynakları, diğer yandan deprem, kentsel dönüşüm ve endüstriyel atıkların atılacağı alanların azlığı ile çevre kirliliğinin her geçen gün artması, geri dönüşüm agrega konusunu yeni bir araştırma konusu haline getirmiştir. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmanın amacı; tuğla ve kiremit atıklarından elde edilen ince agreganın kullanımı ile üretilen çimento ve takviyeli harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. İnşaat Sektöründe Geri Dönüşüm

Farklı işlemlere maruz kalmış, farklı alanlarda kullanılmış malzeme atıklarının yeni bir malzemeye dönüşme işlemine geri dönüşüm denir. Geri dönüşüm işlemleri ile tekrardan enerji kazanma işlemine ise geri kazanım denir. İnsanoğlunun giderek artan tüketim artışlarına çare olarak, hayatı sürdüren vizyon akışı çağımızda büyük önem taşımaktadır. Unutulmamalıdır ki hiçbir doğal kaynak sonsuz değildir. Hafriyat atıkları, çevreye ve doğal hayata zarar vermeyecek durumda olmalıdır. Ekosistemin korunması ve doğal kaynakların korunup varlık sürelerinin uzatılması önem taşımaktadır [4].

Geri kazanım, doğal kaynak sağlanmasına ve korunmasına katkı sağlamaktadır. Dünyada nüfusun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi ile doğal kaynakların her geçen gün azaldığı görülmektedir. Bu sebeple geri dönüşüm, doğal kaynakların korunması için çok önemli bir döngüdür. Atıkların hammaddeye dönüşmesi, malzemelerin üretilmesinde endüstriyel işlemlerin sayısının azalması ile enerji tasarrufu sağlamaktadır [4].

Dünyada çevre kirliliğini azaltmak için farklı çözümler birçok alanda uygulanmaktadır. Kalkınmanın sürdürülebilmesi için gerekli olan enerji, doğal kaynak korunumu, atıkların azaltılması gibi konuları kapsayan bu işlemler çağdaş mimarlığın da gündemini oluşturmaktadır. Dünya nüfusunun artışı ve çeşitli sebeplerle, yeni yapılar ve inşaat sayıları artmaktadır. Bununla birlikte, özellikle Türkiye’de gerek depremler gerekse kentlerin sosyo-ekonomik, fiziksel ve toplumsal sorunları başta büyük şehirler olmak üzere kentsel dönüşümün geniş alanlarda yapılması sonucunu doğurmuştur. İnşaat sektöründeki tüm bu uygulamalar ciddi miktarlarda yapısal atıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. İnşaat uygulaması sonucunda ortaya çıkan yapı kalıntılarından beton, plastik, cam gibi maddeler yapısal atık olarak nitelendirilmektedir. 21. yüzyılın çevresel sorunlarından biri de atık üretimidir ve inşaatın artı kalan atıklar önemli bir yer tutmaktadır. İnşaat uygulaması sonucunda yeniden kullanabilen yapı malzemeleri, tekrar elden geçirilmekte ve geri dönüşüm yöntemleriyle diğer malzemelerin üretiminde hammadde olarak da kullanılabilir. Geri dönüşmüş bu malzemeler, hem kullanıldıkları yapıya çevreyle ilgili değer katmakta hem de ekonomik bir fayda sağlamaktadır. En çok hammadde çeşidinin kullanıldığı alanlardan birisi inşaat sektörüdür. İnşaatın tüketilen malzemelerin

başında beton, asfalt, ahşap, demir gibi yapı malzemeleri gelmektedir. Bu malzemelerin geri kazanımında oluşan yeni materyaller çok yaygın bir şekilde kullanılan önemli malzemelerdir. Örneğin Amerika'da asfaltın geri dönüşüm oranı % 80'dir. Talepler ve tüketime bakıldığında, geri dönüşüm malzemelerinin özellikle inşaat alanında yaygın olarak uygulandığı düşünülürse; ülke ekonominin gelişeceği ve hammadde kaynaklarının önemli derecede artacağı söylenebilir [4].

2.2. İnşaat Atıklarının Yönetimi

Diğer atıklarda olduğu gibi inşaat atıkları için de atık yönetimi; kaynağı koruma, atık azaltma, atığın yeniden kullanımı, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf etme şeklinde tanımlanmaktadır. Çoğunlukla gelişmiş ülkelerde bu atıkların azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüşüm önemli mesafe kat etmiştir. Türkiye’de ise atık yönetimi konusunda çalışmalar daha gelişmemiştir. İnşaat atıklarının oluşmasını azaltmak, tekrar kullanılması için ve geri dönüşen bu atıkların bertarafa gitmeden önce miktarını azaltabilmek önemli bir adım olarak görülmektedir. İnşaat çalışmaları esnasında tedbir almak, atık azaltma stratejileri belirlemek, atıkların oluşumunu önüne geçilmesinde önemli bir faktördür. Bu bağlamda, inşaat atıklarının oluşumunu en düşük seviyeye indirmek amacıyla izlenecek yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir [5]:

- Önce doğru miktar malzeme sipariş edildiğinden emin olmak,
- Malzemenin kullanılacağı vakte kadar iyi bir şekilde depolanmasından emin olmak,
- Malzemeleri olabildiği kadar site alanı içinde kullanmak,
- Yıkıntı sahasından gelen kırık malzemeleri yeniden kullanmak,
- Artan malzemelerin azaltımı için bir plan yapmak,
- İnşaat veya yıkım alanında atıkları ayırmak için ve depolamak için yer oluşturmak

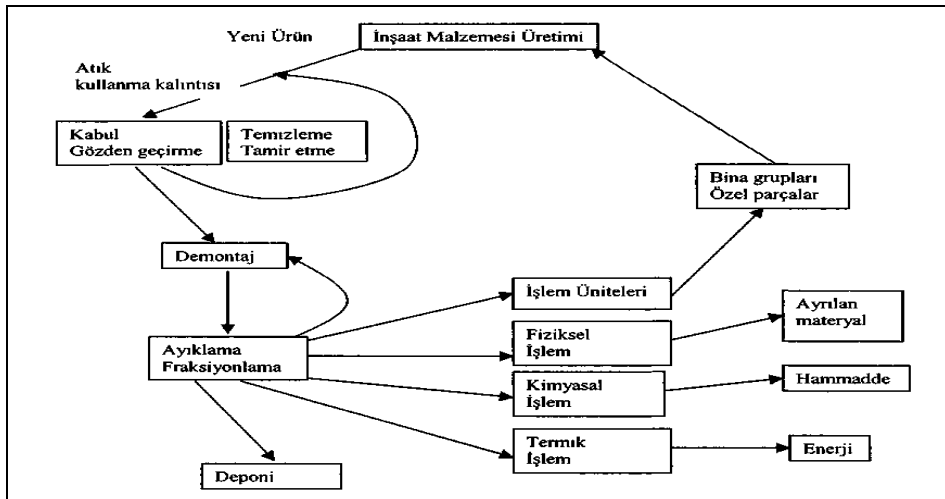
İnşaat esnasında ve yıkımı sonrası oluşan atıkların bir kısmı yeniden kullanılabilir. Bunlardan kapı, pencere, dolap, kiremit gibi pek çok malzemelerin yeniden başka bir inşaatda kullanılması akla gelen ilk örneklerdendir. Bu malzemelerin yeniden kullanımı, hem açığa çıkan atık miktarını düşürmek hem doğal kaynaklı malzemelerin tüketilmesini azaltmak hem de ekonomiye birçok fayda sağlanması bakımından önem taşımaktadır [5].

2.3. İnşaat Atıklarının Hazırlanması

İnşaat faaliyetlerinde kullanılan malzeme ve hammaddeleri göz önünde bulundurularak sınıflandırma yapmak gerekmektedir. Şekil 2.1’de inşaat malzemesinin üretim atıklarına uygulanacak olan işlemler ve sonuçlar görülmektedir. Şekil 2.1’de, bir taraftan bu atıkların geri dönüşümü ile dönüşüm sağlanacağı izlenmekte, diğer taraftan geri dönüşümle elde edilen maddelerin enerji dönüşümü görülmektedir. Değerlendirilemeyen atıklar ise depoda kalmaktadır. Türkiye’de son zamanlarda eski yapıların yerini yenileri almaktadır. Bu yenilenme sırasında oluşan molozlar, ‘Moloz İşleme Merkezleri’nde işlenerek elde edilen malzemeler yeniden inşaat alanında yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu

Bu konuda teknoloji geliştirme çalışmaları da hızla devam etmektedir. Avrupa’da genel olarak inşaat atıklarının bünyesi şöyle sıralanmaktadır:

- Hafriyattan ortaya çıkan atıklar,
- Moloz,
- Yol bozulmasından ortaya çıkan atıklar,
- Demiryolu yenilmesinden ortaya çıkan atıklar



Şekil 2.1. İnşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçlar [6]

Hafriyat toprakları alanına göre; kum, çakıl, taş ve kaya gibi malzemelerin özelliklerini barındırabilir. Hafriyat toprağı; bahçe hazırlanma işleminde, şeddelerin hazırlanmasında, gürültüyü önleme duvarlarının inşaatında ve depolamada kullanılabilir. Üst yapı ve alt yapı

malzemeleri inşaat molozlarını oluşturmaktadır. İnşaat molozlarında toprak, beton, fayans, sıva, alçı blokları, odun, kum, plastik, metal, kâğıt, bitüm, zift, boya ve tuğla gibi birçok malzeme bulunmaktadır. Bütün dünyada, atık hafriyat maddelerini tekrar kazanmak ve kullanıma hazırlamak için geri dönüşüm teknolojilerinden ve bu geri dönüşümün ekonomiye katkısından söz edilmekte, bunun yanında çevresel etkiler de göz önünde bulundurulmaktadır. Bu noktada geri dönüşüm tesislerinde ÇED (Çevresel Etki Değerlendirmesi) raporlarının hazırlanması istenmektedir [6].

2.4. Geri Dönüşüm Agregası

2.4.1. Geri dönüşmüş agreganın tarihçesi

Yapı malzemelerinin kullanımı oldukça uzun bir zamana yayılmaktadır. Romalıların eski yapılarına bakıldığında kiremit parçalarının tekrar kullanıldığı görülmektedir. MS 62 yılında meydana gelen Pompeo depreminden sonra atık yapı malzemelerinin eski yerini aldığı bilinmektedir. Romalı yazar mimar Morcusu Vitruvius (D. MÖ 80-70 - Ö. MÖ 15'ten sonra), belirli önlemler almak koşulu ile kiremit parçalarının yapı malzemesi olarak yeniden kullanılmasını önermiştir [7].

Beton yapıların çeşitli nedenlerle yıkılması sonucunda oluşan beton atıklarının yeniden yapım için kullanılması düşüncesi, ilk olarak II. Dünya Savaşı sonrasında Almanya'da ortaya çıkmıştır. Savaş esnasında yıkılan beton binaların yığınları geri dönüşüm ile agregaya çevrilmiş, elde edilen malzemeler yeniden yapım için kullanılmıştır. Savaş esnasında oluşan atık miktarının ortalama 400-600 milyon m³ olabileceği düşünülmektedir. Savaş sonrasında Almanya'da açılan bir tesiste, bu atıkların geri dönüşümü ile 1955 yılına kadar toplam 11,5 milyon m³ tuğla agregası elde edilmiştir. Elde edilen bu malzemeler kullanılarak 175.000 adet konut yapılmıştır. Almanya'da 1956 yılının sonlarında elde edilen verilerde, savaş nedeniyle ortaya çıkan yığın atıklarının %85'inin temizlendiği ortaya çıkmıştır [8].

1990'lı yıllarda, dünyada enerji tasarrufu ve çevreyi koruma amacıyla geliştirilen "sürdürülebilirlik" kavramı ile birlikte, Avrupa ülkeleri ilk sıralarda olmak üzere geri dönüşüm sonucunda agreganın beton sektöründe yeniden kullanıldığı görülmektedir. Türkiye'de ise, 1999 Marmara depremi sonrası yığın hâline gelen yapıların atıklarının

denize dökülmesi sebebiyle, geri dönüşüm agreganın beton teknolojisinde yer almadığı bilinmektedir. Dünyada 15 araştırmacı 1980'lerden sonra geri dönüşüm agreganın özellikleri ve betonda kullanılması konusunda araştırmalara başlamıştır. Daha sonra ise beton endüstrisinde agrega konusunda fikir ayrılıkları araştırmacıları ikiye ayırmıştır. Belçika, Danimarka, İspanya ve Japonya gibi ülkelerde beton endüstrisinde geri dönüşüm iri agrega ve ince agrega kullanılması gündeme gelmiştir. Resim 2.1'de inşaat yıkıntıları görülmektedir [8].



Resim 2.1. (a,b) İnşaat yıkıntıları [8]

2.4.2. Dünyada geri dönüşüm agreganın kullanımı

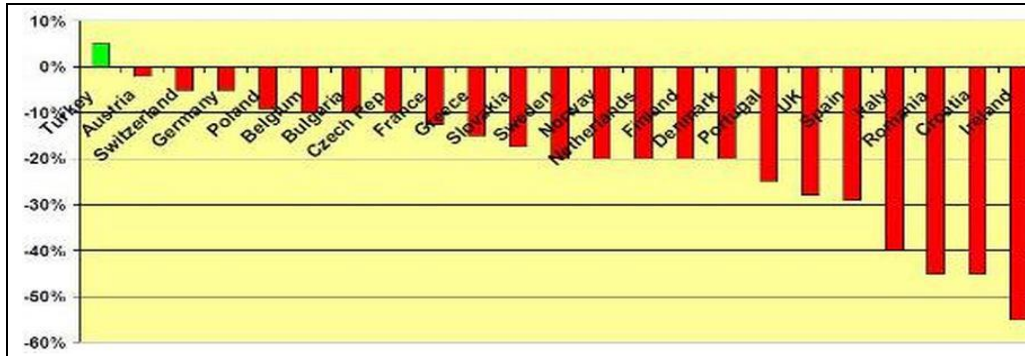
İngiltere; 1989 yılında %10'u geri dönüşüm 330 milyon ton, 2001 yılında 220 milyon ton [9] ve 2005 yılında 58 milyon ton geri dönüşüm agrega tüketmiştir. 2016 yılında ise geri dönüşüm agrega miktarında yıllık 65 milyon tona ulaşılması hedeflenmiştir [10].

AB ülkelerinde 1990'ların sonlarında yapılan araştırmalarda, yapım ve yıkım atığındaki geri dönüşüm oranının ortalama %28 olduğu görülmüştür. Birçok AB ülkesinde geri dönüşüm oranı %50 ile %90 arasına çekilerek, yapım ve yıkım atıklarının geri dönüşümü ile tekrar ahşap, çelik, çakıl gibi malzemelerin doğal kaynağı yerine geçmesi amaçlanmıştır. Atıklarda geri dönüşümün ekonomik ve teknik olarak uygulanabilirliği ispatlanmıştır. Bu yüzden özellikle Danimarka, Hollanda ve Belçika gibi ülkelerde %80'den fazla geri dönüşüm oranı elde edilmiştir. Aynı zamanda güney AB ülkeleri de yapım ve yıkıntı atıklarının bir kısmını geri kazanmaktadır. Fransa, İspanya, İtalya, Portekiz ve Yunanistan gibi ülkelerde inşaat ve yıkıntı atığı çok az miktarda geri

kazanılmaktadır. Çünkü bu ülkelerde doğal agrega kaynakları çok fazla miktarda bulunmakta ve orta maliyette temin edilebilmektedir [11].

Avustralya’da inşaat atıklarının ~%30’u geri kazanılmakta veya tekrar kullanılmaktadır. Hong Kong’da yapım ve yıkım atığı miktarı yılda ~20 milyon tondur. 2002 yılında öncü olarak Hong Kong hükümeti tarafından, 2.400 ton günlük eleme kapasiteli yapım ve yıkım atığı, geri dönüşüm tesisinde geri kazanılmış agrega olarak üretildiği ifade edilmektedir. Tayvan’da ise, geniş ve kapsamlı olarak yapım ve yıkım atığı yönetim planına, 1999’da merkezi Tayvan olan 100.000 konutun ağır hasar gördüğü deprem sonrasında başlanmıştır. Hasarlı yapıların onarımından sonra, yapım ve yıkım atıklarının 30 milyon tondan daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Bunun sayesinde döküm alanında bırakılacak malzemenin %80’inin geri dönüşümde kullanıldığı ifade edilmiştir [12].

Avrupa Agrega Birliği’nin (UEPG) 2005 yaptığı “Avrupa’da Yapım ve Yıkım Atığından Elde Edilen Agregalar” adlı çalışmada, Avrupa’daki bazı ülkelerin agrega üretim miktarlarındaki değişiklikler Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Buna göre, toplam inşaat işlerinde kullanılan geri dönüşüm agrega miktarı tüm agreganın %6’sı civarındadır [13].



Şekil 2.2. 2008 ve 2009 yıllarında agrega üretim miktarındaki değişiklikler [13]

2.5. AB Devletlerinde İnşaat Atıklarının Değerlendirmesi ile İlgili Çalışmalar

Atıkların yönetimi, gelişmiş ülkelerin de büyük sorunlarından biridir. Atık oranları ülkelere ve yere göre değişmekte ve inşaat atıkları global atıklar arasında büyük yer tutmaktadır. İnşaat atıklarını tekrar kullanmak için yapılan geri dönüşüm çevresel ve ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir. Çeşitli inşaat atıklarının geri dönüşümü, doğal kaynağı azalan, mevcut olan kaynaklarını ekonomik bir şekilde kullanan ve doğanın bozulmasını

istemeyen gelişmiş toplumlarda çok yaygındır. 1980’li yıllardan itibaren Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde inşaat malzemelerin atıkları çeşitli tesislerde işlemlere tabi tutularak geri dönüşmekte ve önemli malzemeler tekrar kullanıma girmektedir. 1990-1995 yıllarında Avrupa’da üretilen atık miktarında %10 artış meydana gelmiştir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü’nün (OECD) tahminine göre 2020 yılında, 1995 yılında üretilen atıktan %45 daha fazla atık üretilecektir [1].

2.6. Türkiye’de Geri Dönüşüm Agrega

Türkiye’de inşaat atıklarının kullanımı ile ilgili çalışmalar 2001 yılında başlamıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) “Alo Moloz Hattı”nı faaliyete geçirmiştir. Bu şekilde, belirli miktar para ödenerek atıkların bulunduğu alandan alınması hizmetine başlanmıştır. Bu atıkların 2008 yılından itibaren, İBB’nin bir kuruluşu olan İSTAÇ tarafından geri dönüşümü yapılmaktadır [11].

2.7. Tuğla ve Kiremit Atıkları

Türkiye’de tuğla ve kiremit üretimi çok önemli bir yere sahiptir. Örneğin; üç odalı bir apartman dairesinde kullanılan ortalama tuğla 3.000 adettir. Binanın çatısında ise ortalama 1.200 adet kiremit bulunmaktadır. Aynı zamanda tuğla ve kiremit üretimi ve kullanılması esnasında atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Tuğla ve kiremit atıklarının bir bölümü kırılıp elendikten sonra spor alanlarında kullanılmaktadır. Diğer bölümünün ise depolarda düzensiz ve bilinçsizce bekletildiği görülmektedir. Halbuki atık malzemelerin geri dönüşüm ile yeniden kullanılması, hem ülkeye ekonomik açıdan değer kazandıracak hem de üretim ve tüketimde harcanan enerjiden tasarruf sağlanacaktır [14].

Türkiye’de tuğla ve kiremit sanayisi, üretim açısından verim alınan bir sanayi koludur. Hammaddelerin kolayca bulunduğu bölgelerde 400’den daha fazla tuğla ve kiremit fabrikaları vardır. Bu fabrikalarda her yıl 7,5 milyar adet tuğla, 700 milyon adet kiremit üretilmektedir [14].

2.7.1. Tuğla ve kiremit malzemelerinin tarihçesi

Dünya tarihinde ilk imal edilen yapı malzemesi tuğladır. Kilin su ve ateş ile buluşması tuğlanın doğuşunu meydana getirmiştir. Eski zamanlarda her bina yapımı öncesi tuğla

üretim tesisi kurulmuş ve üretilen tuğlalar da bu binanın yapısında kullanılmaya başlanmıştır. İlk bulunma yerlerinde, tuğla yapımına uygun olan alüvyonlu toprakların da yer aldığı büyük nehir havzalarında üretim tesisi kurulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Mezopotamya’da yer alan Nil ve Euprates/Tigris nehirlerinin alt bölgelerinde yapılan kazılarda, kalıplaşmış kil tabletler ve duvar rölyefleri bulunmuştur. Bu bulgulara göre, tuğla üretiminin bu zamanlarda ortaya çıktığı ve kullanılmaya başlandığı söylenebilir. Nil deltasında yapılan arkeolojik çalışmalarda, MÖ 14.000 yılından kalma tarihin en eski pişmemiş tuğlası bulunmaktadır. Ateşin bulunmasıyla da cam ve metal eritmeyi insanoğlu ustalıkla başarmıştır. MÖ 3.000 yıllarında kil, kum ve su ile karıştırılıp tahta kalıplara dökülmüş, güneşte kurutulmuş ve arkasından pişirilme yöntemi ile ilk harman tuğlası ortaya çıkmıştır. Çin’de tuğlanın üretilmeye başlanması da aynı döneme denk gelmektedir. MÖ 1.300 yıllarında II. Ramses mühürlü Nil balçığından yapılan tuğla Kahire Müzesi’ndedir. II. Nebukadnezar (MÖ 605-562) tarafından yaptırılan çevresi renkli sırlarla kaplı tuğla kapı, Babiloe Berlin Müzesi’ndedir. Babil kulesinin inşaatında (MÖ 600) 85 milyon adet tuğla kullanılmıştır. Kral Artaxerxes- 4 Memnon’un (MÖ 400-358) palastının kabartma işlemesi ve renkli mimarisi, Paris Louvre Müzesi’nde olup herkesi büyülemektedir. Yunanlı yazar Pindar, MÖ 5. yüzyılda Yunanlıların mermeri icad ederek heykel inşa etmekte oldukça önem taşıdığını belirtmiştir. Yunanlılar mermeri, önce binalarda sonra ise duvar malzemesi olarak kullanmışlar, ancak zamanla gördükleri olumsuz sonuç karşısında tuğlaya dönüş yapmışlardır [15].

2.7.2. Tuğla ve kiremit endüstrisi

En eski yapı malzemelerinden biri olan tuğla ve kiremit günümüze kadar özelliklerini yitirmemiştir. Nerede olursa olsun, dünyanın bir ucu da olsa rekabet gösterecek potansiyeli her zaman bünyesinde taşımaktadır. Yapısındaki mineral zenginliğin sağladığı esneklik, bilim ve teknolojinin yeniliklerine uyum göstermekte, başka bir ifadeyle kendini çağa uydurmaktadır [15] .

2.7.3. Tuğlanın endüstri atığı olarak yeri

Günümüzde ve dünya genelinde çeşitli endüstriyel işlemler sonucunda atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Atık malzemelerin miktarındaki artış sonucunda, birçok ülkede bu atıkların nasıl kullanılabileceği üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Atık malzemelerin, ana

malzeme miktarında azaltma yapılarak ana malzemelerin yerine kullanılmasıyla, çevreye verilen zarar en düşük seviyeye indirmeye çalışılmaktadır. Böylece doğal kaynaklar daha iyi kullanılmış olacak ve atık malzemelerin yeniden kullanılması ile çevre kirliliği azalacaktır [16].

İnşaat sektörünün hızlı gelişmesi sebebi ile sektörün önemli malzemelerinden olan tuğlaya talep artmaktadır. Fabrikada üretilen tuğla atıklarının fabrika dışına götürülmesi çevre ve ekonomik açıdan fayda taşımaktadır. Yapılan incelemelerde ve araştırmalarda, üretimden kaynaklı tuğla atık miktarı toplam (hava şartları ve malzemeye bağlı) %10'u civarında olduğunu göstermektedir [16].

Türkiye’de bilhassa Turgutlu, Afyon, Çorum vb. gibi şehirlerde faaliyette olan pek çok tuğla fabrikası bulunmaktadır. Fabrikada üretim esnasında ortaya çıkan atıklar üretime geri gönderilirken, pişme sonucunda ortaya çıkan kırık tuğlalar fabrika dışına stoklanır [17].

Tuğla bünyesinde renk bozukluğu, çatlak ve boyut bozukluğu gibi kusurlar bulunmaktadır. Bu tuğlaların diğerlerinden ayıklanması gerekmektedir. Genellikle tuğlalar fırından çıkartılıp soğutulduktan sonra imalat hatası olanlardan ve kırıklardan ayıklanırlar [18].

Türkiye’nin yıllık tuğla üretim kapasitesi 6 milyar adettir. Ağırlık olarak kapasite 19.000.000 ton ’dur [19].

Türkiye’de kömüre dayalı elektrik enerjisine bağlı olarak termik santraller yapılmaktadır. Bu santrallerden her yıl yaklaşık 15 milyon ton uçucu kül (UK) açığa çıktığı bilinmektedir. Dünya genelinde 360 milyon ton UK depolandığı bilinmekte ve bunlar önemli bir ekonomik kaynak olarak görülmektedir. Bu tip endüstriyel atıkların fabrika sahasında biriktirilmesi ile rüzgâr ve yağmur gibi meteorolojik etkiler sonucunda; hava, toprak ve görüntü kirliliği oluşması kaçınılmaz bir problemdir. Bu çevre sorunlarının yanı sıra; tarım ürünlerine zarar vermesi, yağmur suları ile yer altı sularına karışması ile besin zincirine dâhil olması gibi küresel çapta çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu açıdan, Türkiye’de depolama miktarları fazla olan özellikle UK ve kiremit atıklarının fabrikalarda depolanması yerine; kimya, seramik, cam, inşaat vb. sektörlerde değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması önem arz etmektedir. Resim 2.2’de kiremit ve tuğla atıkları gösterilmiştir [18].



Resim 2.2. (a,b) Kiremit ve tuğla atıkları [18]

2.8. Harçlar

Harçlar, en eski yapı malzemelerinden biridir. Kullanım alanı, şekli ve özelliklerine göre değişiklik gösteren vazgeçilmez bir malzemedir. Sıvalar yapı elemanlarını bir arada tutan ve dış etkenlere karşı koruyan önemli bir kaplamadır. Diğer taraftan harç, yapıdaki kullanma şekli ve yerine göre bağlayıcı bir malzemedir. Harç; kum, kireç veya çimentonun kuru olarak karıştırılması, bu karışıma hidrasyon ve işlenebilme özelliği sağlayıcı nitelikte gerekli miktarda suyun eklenmesi ve tekrardan karıştırılması suretiyle elde edilir [20].

2.8.1. Harçların tanımı

Bağlayıcı, ince agrega, su ve katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen, doluluk, mukavemet, geçirimsizlik, aderans, dış etkenlere dayanıklılık gibi mekanik ve fiziksel özelliklerle sahip malzemelere “harç” adı verilmektedir [21].

2.8.2. Harçların sınıflandırması

Malzeme çeşidine göre harçlar beş gruptan oluşmaktadır. Bunlar; kil, alçı, kireç, çimento ve melez harçlarıdır. Yapılarda kullanma yerine göre duvar, sıva, şap ve şerbet harçları olarak dört grupta toplanmaktadır [21].

2.8.3. Harçların yapılarda kullanım yerleri

Harçların kullanılmasında temel amaç; yapı bileşenlerini meydana getiren elemanların birbirleri ile bağlanmasını sağlayarak bir bütün meydana getirmektir denilebilir. Böylece, harç bileşenlerine gelen basınç yükünün dağılması sağlanmaktadır. Bir başka kullanım maksadı ise, yapı elemanlarını dış etkenlerden korumaktır. Çimento, kireç veya melez harcı, kâgir yapı elemanlarını birleştirmek ve yüklerini dağıtmak için kullanılmaktadır. Harç yapılarda kullanılırken; 300 kg çimento taşıyıcı duvarlarda, 400-600 kg çimento zararlı su ile temas eden yerlerde ve melez harcı taşıyıcılığı çok önemli olmayan alanlarda tercih edilmektedir [22].

2.8.4. Harç çeşitleri

Kireçli harcı

Belirli oranlarda kum, sönmüş kireç ve suyun karıştırılması sonucunda elde edilen harçtır. Günümüz inşaat sektöründe sık kullanılmamakla birlikte, bazen iç bölme duvarlarında ve rutubet almayan yerlerde kullanılmaktadır [23].

Takviyeli harç

Kireç harcının içerisine, belirli oranda çimento ilave edilerek elde edilen harçtır. İnşaat sektöründe duvar örme işlerinde ve sıva yapımında genellikle takviyeli harç kullanılır. İlave edilen çimento, harcın hızlı sertleşmesini ve daha mukavemetli olmasını sağlamaktadır [23].

Çimento harcı

0-4 mm'lik kum ile belirli oranda çimento ve suyun karışımından elde edilen harçtır. Bu harçlar, genellikle dış duvarların örülmesinde kullanılır. Duvar örgü harcı içerisindeki çimentonun yaklaşık miktarı 250-350 kg arasında değişmektedir. Çimento harçları, çimentonun priz almaması için 2 saat içinde kullanılmalıdır [23].

Melez (Temditli) harç

Sadece çimento katılarak yapılan harcın işlenebilirliğinin düşük olduğu bilinmektedir. Çimentonun özelliğinden dolayı harç çabuk priz alır ve kullanım esnasında malaya yapışabilir. Kireç çimentonun prizini geciktireceğinden ve harcın işlenebilirliğini artıracığından çimento harcının içine bir miktar kireç katılır. İçerisine kireç katılmış bu tür harçlara melez harç veya temditli harç adı verilir. [23].

Hazır duvar harçları

Bu tür harçlar, çeşitli kimyasal katkı maddeleriyle desteklenen içerisine Portland çimentosu katılmak suretiyle fabrika ortamlarında üretilen harçlardır. Bu harçlar; iç ve dış mekânlarda, taş, tuğla ve çeşitli bloklarla duvar örmede kullanılır. Hazır harçlar; içerisindeki katkı maddeleri nedeniyle suya, neme, ağır hava şartları ile dondayanıklıdır. Piyasada 30-40 kg'lık torbalar içerisinde toz halde satılmaktadır [23].

2.8.5. Harcın bileşenleri

Harç bileşiminde bir katkı maddesi bulunmadığı zaman üretimi için kullanılan bağlayıcı malzemeye göre adlandırılır (çimento harç ve sıvaları, kireç harcı vb. gibi) [24].

2.8.6. Bağlayıcı ve bağlayıcı çeşitleri

Bağlayıcı; kırma taş, çakıl, kum, tuğla kırıkları gibi agregaları birbirine yapıştırarak, yapay taş oluşumuna sebep olan malzemedir. Bağlayıcı malzemeler piyasada genel olarak toz hâlinde bulunur. Çimento, kireç ve alçı su ile karıştırıldığında plâstik bir hamur ortaya çıkar. Bağlayıcı için katılaştıktan sonra sertleşme özelliği olan, iri ve ince agregaların bağlanmasında kullanılan malzeme de denilebilir [24].

2.8.7. Harçların özellikleri

Bir harçta bulunması gereken özellikler; basınç mukavemeti, doluluk, geçirimsizlik, aderans, katılma sırasında hacim değişikliği göstermemesi, aşınmaya ve dış etkilere karşı direncinin yüksek olması şeklinde sayılabilir. Kullanım yerine göre bu özelliklerden bazıları diğerlerine göre daha fazla önem kazanmaktadır. Bu özellikleri

gerçekleştirebilmek için gerekli faktörler ise; bağlayıcı cinsi ve miktarı, kumun cinsinin seçimi ve kumun granülometrisinin düzenlenmesi, karma/yoğurma suyunun cins ve miktarı, iyi işçilik şartlarının (karıştırma, taşıma, yerleştirme, bakım) sağlanması olarak ifade edilebilir [23].

2.9. Geri Dönüşüm İnce Agreganın Harçta Kullanımı ile İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar

Yapılan literatür taraması sonucunda geri dönüşüm agregaları ile ilgili yapılan çalışmaların çok fazla olmadığı görülmektedir.

Neno ve ark. yaptıkları çalışmada, geri kazanılmış agrega kaynağı ve kalitesinin harç özelliklerinde çok etkili olduğunu belirlemiş ve bu nedenle çeşitli çalışmalardan farklı sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca geri kazanılmış agreganın yüksek poroziteye sahip olduğundan dolayı bu agregaların kullanılacakları harçlarda düşük işlenebilirliğe sahip olacaklarını vurgulamıştır [25].

Hanžič ve ark. yaptıkları çalışmada, geri dönüşüm agregası kullanılarak yapılan harçların %15 akıcılığa sahip olduğunu, geri kazanılmış agreganın yüzey alanı ve porozitesinin daha fazla olmasının buna neden olduğunu belirtmişlerdir [26].

Vegas ve ark. yaptıkları çalışmada, geri kazanılmış ince beton agregaların harçta ince kumla yer değiştirerek kullanımını araştırmışlardır. Geri kazanılmış ince agregalar %25 oranına kadar kumla yer değiştirdiğinde; harçların mekanik özellikleri, işlenebilirliği ve rötresi olumsuz bir şekilde etkilenmemiştir. Ayrıca bu agregaların kimyasal akışkanlaştırıcı katkı maddesi katmadan harç yapımında kullanılabildiğini ifade etmişlerdir [27].

Jimenez ve ark. yaptıkları çalışmada, ince öğütülen seramik atıkları harca farklı oranlarda katarak ürettikleri taze ve sertleşmiş duvar harcının özelliklerini incelemişlerdir. Geri kazanılmış kum doğal kumla %0, %5, %10, %20 ve %40 oranlarında ikame edilmiştir. 0.8 cm³ sabit hacimde akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış ve harçların karışım suyu miktarı yayılma tablasıyla belirlenmiştir. Geri kazanılmış ince agregaların su emme oranı daha fazla olduğu için ikame oranları arttıkça harcın karma suyu da artmıştır. Sertleşmiş harçlarda; eğilme ve basınç dayanımı, kuru birim ağırlık, rötre, yapışma dayanımı, su buharı geçirimsizliği, kapiler su emme ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçta geri

kazanılmış ikame oranları arttıkça taze birim ağırlığın ve işlenebilirliğin azaldığı belirlenmiştir. Sertleşmiş harçlarda basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Kapiler su emme ve su buharı geçirgenliğinin geri kazanılmış agreganın yükseldikçe arttığı gözlenmiştir [28].

Corinaldesi ve Moriconi yaptıkları çalışmada, geri kazanılmış tuğla, geri kazanılmış agreganın ve CEM II çimentosunu kullanarak çimento harcı üretmiş ve bu harcın mekanik ve reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada geri kazanılmış agreganın normal kumla %100 ikame edildiğinde normal harca göre mekanik özellikleri daha düşük çıkmıştır. Buna rağmen harç-tuğla aderans dayanımının yüksek olduğunu belirtmişlerdir [29].

Martínez ve ark. Yaptıkları çalışmada, doğal kum ve üç farklı cinsten geri kazanılmış agreganın kullanarak harç üretmişler ve bu harçların özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada kullanılan agregalar, beton, seramik ve duvar atığından oluşmaktadır. Harçlarda çimento-kum oranı 1/6 seçilmiş ve doğal agregalar geri kazanılmış agregalarla farklı oranlarda yer değiştirmiştir. Sonuçlara göre, geri kazanılmış agreganın ile yapılan harcın basınç dayanımı doğal kumla üretilen harca göre düşük gözlenmiştir. Geri kazanılmış agreganın cinsine göre harcın eğilme ve yapışma dayanımı artmıştır. Geri kazanılmış agreganın kullanılması ile üretilen harcın su emme, porozite, rötre, kılcal su emme ve su emme özelliklerinin normal duvar harcından yüksek olduğu gözlenmiştir [30].

Lee yaptığı çalışmada, çeneli ve darbeli kırıcı ile iki farklı geri kazanılmış agreganın üretmiş ve agregaları doğal kum ile belirli oranlarda yer değiştirerek harçlar üretmiştir. Kullanılan kumların özgül ağırlık ve su emme oranları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda doğal kumun çeneli kırıcıdan elde edilen geri kazanılmış agreganın ile yer değiştirdiğinde, darbeli kırıcı ile elde edilen harçların yoğunluk ve basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Geri dönüşüm agreganın ince öğütüldüğünde harcın su emme oranını etkilediği belirlenmiştir [31].

Ledesma ve ark. yaptıkları çalışmada, duvar harçlarını geri dönüştürerek ince agreganın elde etmişler ve bu ince agreganın yeni duvar harcının üretilmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada CEM II çimento kullanılmış ve çimento/kum oranı 1/5 seçilmiştir. Çalışma sonucunda birim ağırlığı düşük olan geri kazanılmış agreganın yer değiştirme oranı arttıkça harcın birim ağırlığının azaldığı gözlenmiştir. %25 oranının

altındaki geri kazanılmış agregalar, harçların işlenebilirliğini belirgin şekilde etkilemiştir. Harçtaki geri kazanılmış agreganın oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımları azalmıştır. Bununla birlikte geri kazanılmış agreganın oranı arttıkça harcın su emme oranları da artmıştır. Harç karışımında geri kazanılmış agreganın miktarı arttıkça, harçların kuruma büzülmesi artarken, yapışma dayanımının azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan geri kazanılmış agreganın oranları arttıkça kapiler su emme oranlarının da arttığı görülmüştür [32].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalar kapsamındaki numune harç üretiminde, doğal ince agrega (kum), geri dönüşüm ince agregalar (kiremit kumu ve tuğla kumu), çimento, kireç ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Harç üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

3.1.1. İnce agrega

Harç üretiminde doğal kum olarak kullanılan 3 mm boyutlu dere kumu Ankara-Kızılcahamam yöresinden temin edilmiştir. Geri dönüşüm ince agrega olarak ise tuğla kumu ve kiremit kumu kullanılmıştır. Atık tuğlalar, Ankara İmrahor'da bulunan bir tuğla fabrikasından kırılmamış halde temin edilerek laboratuvara getirilmiştir. Atık kiremit ise kırılmış halde çuvallar içerisinde Manisa-Turgutlu'daki Kudret Tuğla Fabrikası'ndan getirilmiştir. Atık tuğlalar, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi laboratuvarındaki çeneli kırıcıda kırılarak küçük parçalar haline getirilmiştir (Resim 3.1). Ardından hem kırık tuğlalar hem de kırılmış kiremitler elek serisinden elenerek doğal dere kumu ile aynı granülometriye getirilmiş ve böylece tuğla kumu (TK) ile kiremit kumu (KK) elde edilmiştir. Harç yapımında kullanılan dere kumu, TK ve KK Resim 3.2'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. (a,b) Tuğla kumu elde etmek için kullanılan çeneli kırıcı



Resim 3.2. Harç yapımında kullanılan doğal kum ve geri dönüşüm ince agrega (TK +KK) numuneleri

Çalışmada kullanılan TK ve KK'nin kimyasal analizleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tuğla ve kiremit kumunun kimyasal analizi

Bileşim (%)	KK	TK
SiO ₂	62,03	57,38
Al ₂ O ₃	17,49	18,82
Fe ₂ O ₃	8,07	7,62
K ₂ O	3,11	3,51
MgO	2,88	3,14
CaO	2,79	3,26
TiO ₂	0,95	0,95
Na ₂ O	0,69	1,57
SO ₃	0,20	1,06
P ₂ O ₅	0,17	0,17
MnO	0,11	0,14
Cl	0,06	-
Kızdırma kaybı	1,45	2,38

3.1.2. Çimento

Deneylerde Baştaş Çimento Fabrikasından alınan CEM I 42.5 R tipi PÇ kullanılmıştır.

Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. CEM I çimentosunun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler		
CaO	62.33	Özgül yüzey (Blaine) (g/cm³)		3644
SiO₂	20.40	Yoğunluk (g/cm³)		3.11
Al₂O₃	5.23	40 mikron üstü kalan (%)		9.3
Fe₂O₃	3.27	90 mikron üstü kalan (%)		0.7
MgO	1.24	Priz başı (dak)		145
SO₃	3.44	Priz sonu (dak)		220
Cl	0.014	Normal kıvam suyu (%)		32
Na₂O	0.58	Hacim genleşmesi (mm)		1
K₂O	0.92	Mekanik özellikler		
Kızd. kaybı	2.22			
Çöz. kalıntı	1.21	Basınç dayanımı (MPa)		
Toplam katkı	3.31			
S.CaO	0.48	2 gün	7 gün	28 gün
Alçı	6.28	27.0	40.0	51.8
Klinker	90.41			

3.1.3. Kireç

Çalışmada, Baştaş Kireç fabrikası ürünü Cl 70 kireci kullanılmıştır. Kirecin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. CL70 sönmüş kirecin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler	
CaO	60.23	Yoğunluk (g/cm ³)	1.2
MgO	2.46	200 mikron üstü kalan (%)	6.4
CaO+MgO	62.69	90 mikron üstü kalan (%)	16.7
SO ₃	0.67		
SiO ₂	0.30		
Fe ₂ O ₃	0.09		
Al ₂ O ₃	0.07		
Kızd. kaybı	36.17	Hacim değişmesizliği (mm)	14

3.1.4. Karışım suyu

Deneysel çalışmalarda hamur ve harç karışım suyu olarak Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışmada; çimento ve kireç olmak üzere iki farklı bağlayıcı kullanılmıştır. Deneyler, 20 ± 2 °C sıcaklık ve nisbi nemi % 65 olan laboratuvarda yapılmıştır. Karışımlarda kullanılan bağlayıcıya göre iki grup harç üretilmiştir. Birinci grup harçlarda % 100 çimento (%100 Ç), ikinci grup harçlarda ise % 70 çimento + % 30 kireç (% 70 Ç + % 30 K) kullanılmıştır. Çalışmada, atık tuğla ve atık kiremit geri dönüşüme tabi tutularak TK ve KK elde edilmiş ve doğal dere kumu ile harç içinde %100, %75, %50, %25 ve %0 oranlarında ince agrega olarak kullanılmıştır. Ayrıca TK ve KK %75, %50 ve %25 oranlarında birbiri ile de ikame edilerek harç karışımları elde edilmiştir. Böylece kontrol harçları dahil olmak üzere 24 çeşit harç karışımı elde edilmiştir. Elde edilen harç karışım oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan harç karışım oranları

Sıra no	Bağlayıcı	Numune kodu	Doğal dere kumu (%)	TK (%)	KK (%)	Çimento (%)	Kireç (%)	Su (%)
1	Çimento	DK100	100	-	-	100	-	56
2		DK75+TK25	75	25	-	100	-	66
3		DK50+TK50	50	50	-	100	-	75
4		DK25+TK75	25	75	-	100	-	84
5		TK100	-	100	-	100	-	96
6		DK75+KK25	75	-	-	100	-	66
7		DK50+KK50	50	-	50	100	-	75
8		DK25+KK75	25	-	75	100	-	83
9		KK100	-	-	100	100	-	93
10		TK75+KK25	-	75	50	100	-	96
11		TK50+KK50	-	50	50	100	-	95
12		TK25+KK75	-	25	75	100	-	94
13	Çimento + Kireç	DK100	100	-	-	70	30	66
14		DK75+TK25	100	-	-	70	30	76
15		DK50+TK50	75	25	-	70	30	87
16		DK25+TK75	50	50	-	70	30	94
17		TK100	25	75	-	70	30	105
18		DK75+KK25	-	100	-	70	30	74
19		DK50+KK50	75	-	25	70	30	85
20		DK25+KK75	50	-	50	70	30	92
21		KK100	25	-	75	70	30	100
22		TK75+KK25	-	-	100	70	30	105
23		TK50+KK50	-	75	50	70	30	104
24		TK25+KK75	-	50	50	70	30	104

3.2.1. İnce agrega deneyleri

Deneylerde kullanılan doğal dere kumu, TK ve KK numuneleri üzerinde ince agrega deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasıyla elek analizi ve incelik modülü, yoğunluk, su emme, kimyasal analiz, mineralojik analiz ve mikroskobik analiz deneyleridir.

Elek analizi

Elek analizi deneyi, TS 2717 EN 13139 [33]'a göre ince agrega olan deney numuneleri üzerinde TS EN 933-1 “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-Eleme metodu” standardına göre yapılmıştır [34]. Deneye başlamadan önce numunelerin ilk ağırlığı tartılmış, ardından etüve konularak 110 ± 5 °C’de 24 saat kurumaya bırakılmıştır. En üstte 4 mm ve en altta 0.063 mm elek olacak şekilde elek serisine yerleştirilen 3000 g ince agrega numunesi 5 dk elenmiştir (Resim 3.3). Sürenin sonunda her elek üstünde kalan numune tartılarak kaydedilmiş, hesaplamalar yapıldıktan sonra elek analiz tablosu hazırlanmış ve ince agrega granülometri eğrisi çizilmiştir.



Resim 3.3. Elek serisi

İncelik Modülü

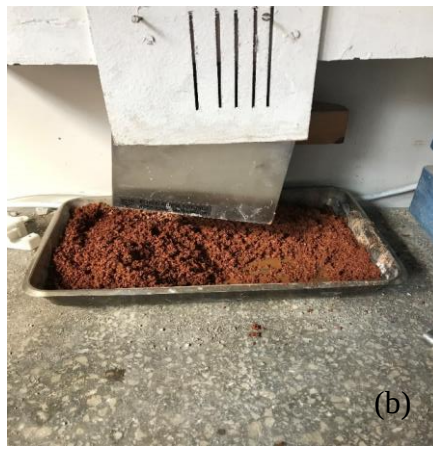
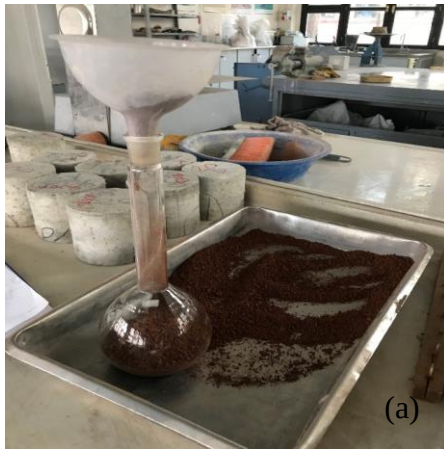
İncelik modülü, her elek üzerinde kalan yığılımlı (kümülatif) yüzdelerin toplamının 100’e bölünmesi ile elde edilmiştir. Çizelge 3.5’te incelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelik hesaplama tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.5. İncelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelik hesaplama tablosu [33]

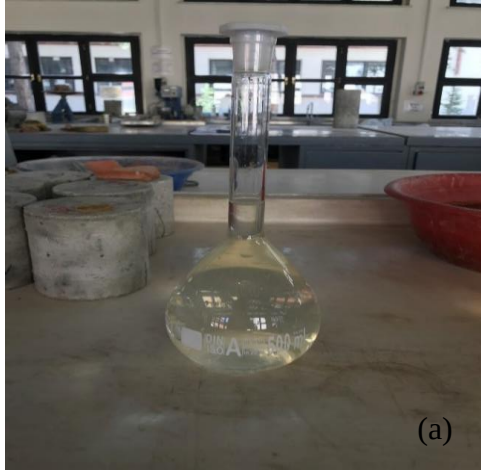
İncelik modülü		
CF	MF	FF
3,6-2,4	2,8-1,5	2,1-0,6

Yoğunluk

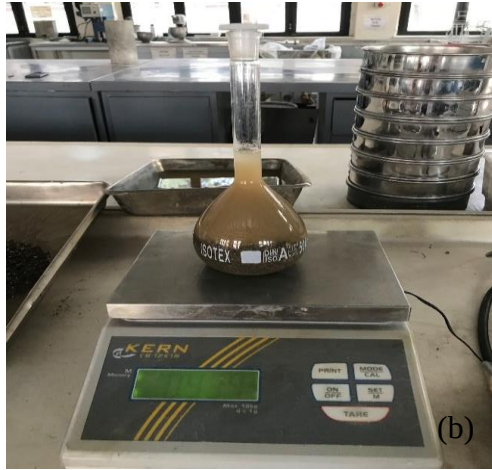
Bu deney, TS EN 1097-6 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini standardına göre yapılmıştır [35]. Deneyde kullanılacak ince agrega 4 mm göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elek altı ince agregadan 500 g deney numunesi alınmıştır. Her üç kumdan (dere kumu, TK ve KK) daha doğru bir sonuç elde etmek için deney 3 defa tekrarlanmış ve 3 deneyin aritmetik ortalaması alınmıştır. Deneyde ilk olarak kum numunesi doygun yüzey kuru hale getirildikten sonra (Resim 3.4) Kern marka 0.01 g hassasiyetli terazide tartılarak kaydedilmiştir (M_1). Daha sonra piknometre suyla doldurularak tartılmış (M_2) ve ardından numuneler piknometre içerisine doldurularak hapsolmuş hava vakum uygulamak suretiyle uzaklaştırıldıktan sonra tekrar tartılmıştır (M_3) (Resim 3.5). Daha sonra piknometre içerisindeki kum ve su bir tepsi içine boşaltılmış, tepsideki numune 110 ± 5 °C'deki etüvde 24 saat kurutulduktan sonra tartılmıştır (M_4).



Resim 3.4. (a,b) Kum yoğunluk deneyinin yapılışı



(a)



(b)

Resim 3.5. (a,b) Kum yoğunluk deneyinde kullanılan piknometre ve hassas terazi

Kum numunelerinin tane yoğunlukları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

Görünür tane yoğunluğu

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3.1)$$

Etüvde kurutulmuş haldeki tane yoğunluğu

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.2)$$

Doygun ve yüzeyi kuru haldeki tane yoğunluğu

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.3)$$

Burada:

ρ_w : Deney sıcaklığındaki su yoğunluğu (bk. Ek D), (megagram/m³)

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g)

M_2 : Doygun agrega numunelerini ve su içeren piknometrenin kütlesi (g)

M_3 : Yalnızca su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g)

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının havadaki kütlesi (g)

Su emme deneyi

Numunelerin su emme oranını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (3.4)$$

Burada:

WA_{24} = 24 saatlik su emme oranı (%).

Mineralojik analiz

Deneyisel çalışmalarda kullanılan KK ve TK kumlarının mineralojik analizi, X-Işını difraktometre cihazı (XRD) kullanılarak belirlenmiştir. XRD analizleri, Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler merkezinde yaptırılmıştır.

Mikroskobik analiz

Deneyisel çalışmada elde edilen TK ve KK'nin mikro analizleri, Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler merkezindeki Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı ile incelenmiştir.

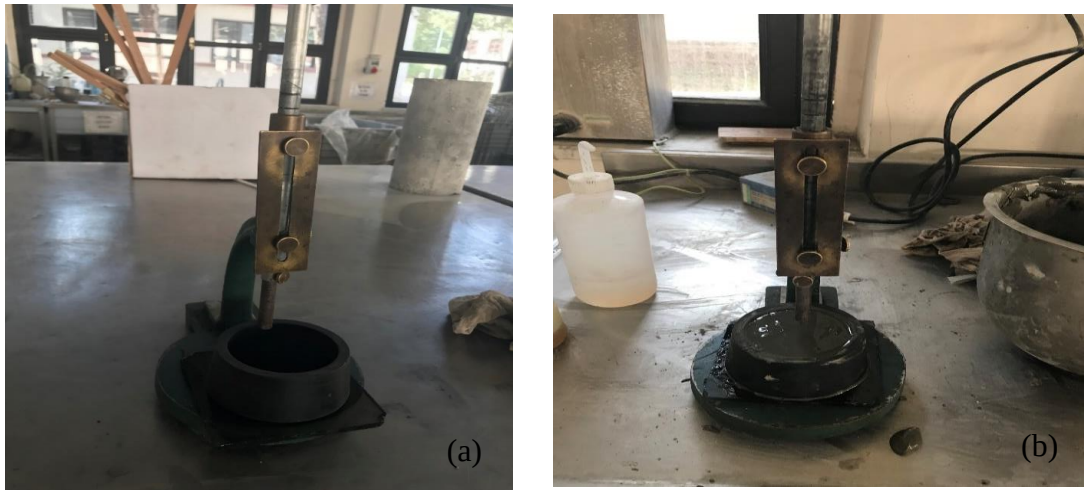
3.2.2. Hamur deneyleri

Tez çalışması kapsamında elde edilen çimento ve çimento-kireç hamurları üzerinde kıvam suyu, priz başı ve priz sonu ile hacim genişmesi deneyleri yapılmıştır.

Kıvam suyu tayini deneyi

Bu deney, TS EN 196-3 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genişleme tayini standardına göre yapılmıştır [36]. Deneyde Vicat aleti, Vicat aletinin sondası ve halkası, terazi, cam taban plakası, cam mezür, mikser, spatula ve kronometre kullanılmıştır. % 100Ç kullanılan hamurlarda deney için 500 g çimento ve 125 g ile 150 g arasında su kullanılmıştır. Her hamur, mikser kullanılarak karıştırılmıştır. İlk olarak çimento ve suyun mikser kabı içine herhangi bir kayıp vermeden 10 s içinde konulmuştur. Mikser düşük hızda 90 s çalıştırıldıktan sonra 30 s süreyle durdurulmuş ve bu esnada kabın iç çeperlerine ve tabana yapışan çimento hamuru plastik sıyrıcı ile sıyrılarak kabın ortasına getirilmiştir. Sonra mikser tekrar 90 s düşük hızda çalıştırılmış ve böylece toplam

3 dk sonunda karıştırma işlemi tamamlanmıştır. Çimento hamuru, daha önce hafifçe yağlanmış taban plakası üzerine yerleştirilerek iç kısmı hafifçe yağlanmış kalıp içerisine sıkıştırma veya titreşim uygulanmaksızın vakit geçirmeden yerleştirilmiş ve yüzeydeki fazla çimento hamuru, bir masterla sıyrılarak alınmıştır. Ardından Vicat aletine takılı sonda, taban plakasına temas edecek şekilde indirilmiş ve göstergesi sıfıra ayarlanmıştır (Resim 3.6). Kalıba doldurulan ve yüzeyi düzeltilen hamur vakit geçirilmeden taban plakası ile birlikte Vicat aletine yerleştirilmiş ve sonda hamur yüzeyi ile temas edene kadar yavaşça indirilmiştir. Takiben sonda serbest bırakılmış ve kendi ağırlığı ile hamurun merkezine girmesi sağlanmıştır. Sonda, hamur karıştırılmaya başladıktan $4 \text{ dk} \pm 10 \text{ s}$ sonra serbest bırakılmış ve sondanın batması durduktan en az 5 s sonra okuma yapılmıştır. Sondanın alt yüzü ile taban plakası arasındaki mesafeyi gösteren skala değeri okunmuş ve bu değer, çimento kütlesine oranla % cinsinden su miktarı ile birlikte kaydedilmiştir. Sonda hamura her batırıldıktan sonra temizlenmiş ve deney, farklı miktarda su içeren hamurlarda sonda ile taban plakası arasındaki mesafe $6 \pm 2 \text{ mm}$ oluncaya dek devam edilmiştir. Deney % 70Ç + % 30K kullanılan hamurlara da aynı işlemler tekrar edilerek uygulanmıştır.



Resim 3.6. (a,b) Hamur numunede normal kıvam deneyi için Vicat aleti ve sondası

Priz deneyi

Priz deneyi, TS EN 196-3 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini standardına göre yapılmıştır [36]. Deney, normal kıvam deneyinde kullanılan hamurlar üzerinde vakit kaybetmeksizin aynı Vicat aletine Vicat iğnesi takılarak yapılmıştır. Sonra Vicat iğnesi cam plaka seviyesine indirilerek sıfırlanmıştır. Hamur üst

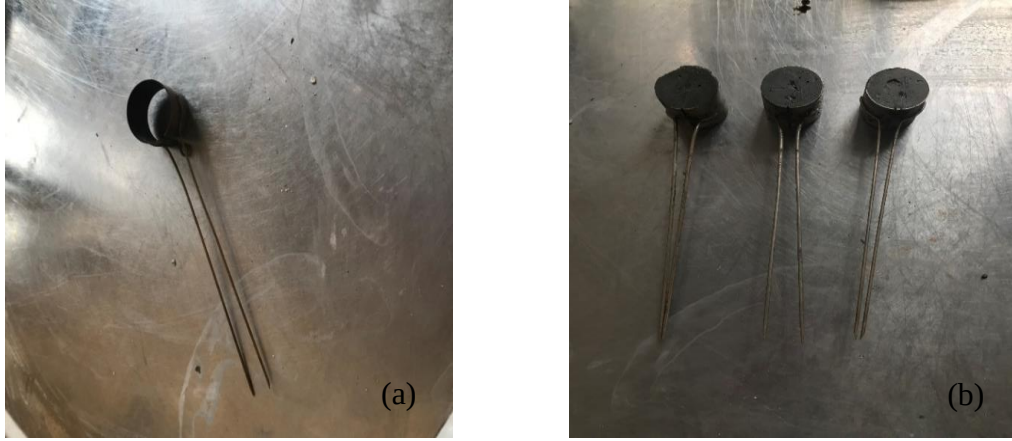
yüzeyine gelene kadar iğne ucu dikkatli bir şekilde indirilmiş ve yüzeye temas ettikten sonra serbest bırakılarak hamura batırılmıştır. İğnenin batışından sonra 3 s içinde okuma yapılmıştır. Aynı hamur numunesi üzerinde, iğne batırılan iki nokta arasında en az 10 mm mesafe kalacak şekilde ve uygun zaman aralığında batırma işlemi tekrarlanmıştır. Cam taban plakası ile iğnenin ucu arasındaki mesafe 3-5 mm arasında olduğu süre hamurun priz başı olarak kaydedilmiştir. Ardından iğnenin belirli zaman aralıklarında hamura batırma işlemlerine devam edilmiş, iğne ucunun hamur üst yüzeyine en fazla 1 mm battığı süre hamurun priz sonu değeri olarak yazılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.7. Vicat aleti ve iğnesi kullanılarak yapılan priz deneyi

Genleşme tayini deneyi (Le Chatelier)

Genleşme deneyi, TS EN 196-3 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini standardına göre yapılmıştır [36]. Deneyde Le Chatelier aleti, cam plaka, spatula, kumpas ve su kaynatma kabı kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce Le Chatelier aletinin doğruluğu ve esnekliği kontrol edilmiştir. Kalıbın altına konulmak üzere ~60x60 mm boyutlu cam bir plaka hazırlanmış ve üzeri hafifçe yağlanmıştır. Ardından deney numunesi olarak priz deneyi için hazırlanan hamur numuneden bir miktar alınmıştır. Kalıbı doldururken yarık kısımlarının açılmaması için çubuklar lehim yerlerinden lastikle bağlanmıştır.



Resim 3.8. (a,b) Le Chatelier aleti ve deney numuneleri

Kalıp, cam plaka üzerine oturtulmuş ve hamur numune spatula yardımı ile kalıbın içine doldurulmuştur (Resim 3.8). Kalıp üzeri, spatula ile kenar seviyesine kadar düzeltilmiş ve üzeri cam plaka ile kapatılarak ayarlanmış su kabına konulmuştur. Kaba konan deney numunesi 24 ± 0.5 saat süreyle 20 ± 1 °C’de bekletilmiş ve çubuk uçları arasındaki mesafe (A) kumpasla ölçülmüştür. Takiben cam levhalar dikkatli bir şekilde kaldırılmış ve çubuklar hiç bir yere temas etmeden kaynayan su kabına konulmuştur. Sonra numune kalıplar dikkatli bir şekilde kaynatma kabına alınarak kapağı kapatılmış (Resim 3.9) ve 30 ± 5 dk içinde kaptaki su tedricen ısıtılarak kaynama noktasına getirilmiştir. Ardından numuneler kaptaki su kaynarken 3 saat ± 5 dk bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda çubuk uçlarının açıklığı (B) ölçülmüştür.



Resim 3.9. Deneyde kullanılan kaynatma kabı

Kalıptaki numuneler laboratuvar ortam sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmış ve sonra çubukların uçları arasındaki mesafe (C) ölçülmüştür. Takiben (C-A) hesaplanmış ve böylece genleşme değeri bulunmuştur.

3.2.3. Numunelerin üretimi, boyutları ve kodlanması

Deneylerde kullanılan harç karışımına giren malzemeler ve miktarları, ASTM C109/C109M-16a Standart Test Metot for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars [37] standardına göre belirlenmiştir ve Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7 de verilmiştir

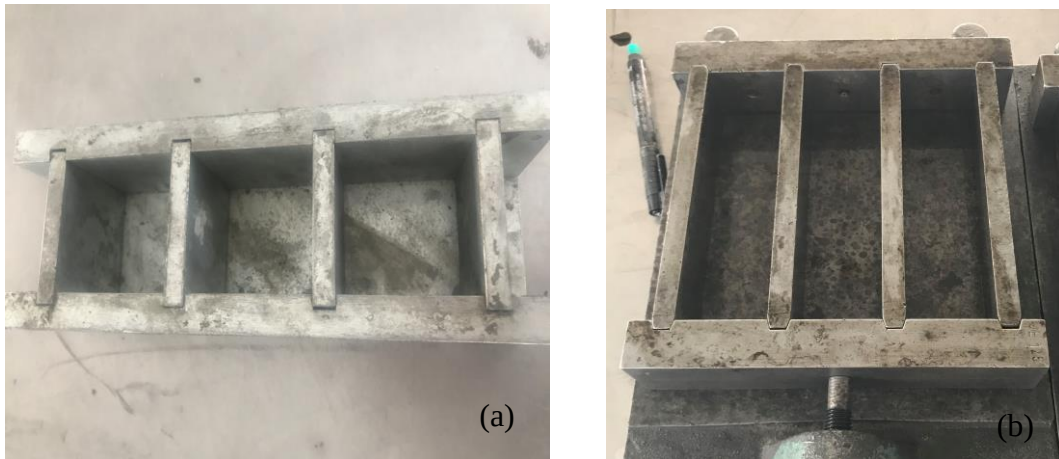
Çizelge 3.6. %100Ç harcı karışım miktarları

Numune kodu	Çimento (g)	DK (g)	TK (g)	KK (g)	Su (g)
DK100	500	1375	-	-	280
DK75+TK25	500	1031.25	343.75	-	330
DK50+TK50	500	687.5	687.5	-	375
DK25+TK75	500	343.75	1031.25	-	420
TK100	500	-	1375	-	480
DK75+KK25	500	1031.25	-	1031.25	330
DK50+KK50	500	687.5	-	687.5	373
DK25+KK75	500	343.75	-	343.75	415
KK100	500	-	-	1375	465
TK75+KK25	500	-	1031.25	343.75	480
TK50+KK50	500	-	687.5	687.5	475
TK25+KK75	500	-	343.75	343.75	470

Çizelge 3.7. %70Ç + %30K harcı karışım miktarları

Numune kodu	Çimento (g)	Kireç (g)	DK (g)	TK (g)	KK (g)	Su (g)
DK100	333	167	1375	-	-	330
DK75+TK25	333	167	1031.25	343.75	-	380
DK50+TK50	333	167	687.5	687.5	-	435
DK25+TK75	333	167	343.75	1031.25	-	470
TK100	333	167	-	1375	-	525
DK75+KK25	333	167	1031.25	-	1031.25	368
DK50+KK50	333	167	687.5	-	687.5	425
DK25+KK75	333	167	343.75	-	343.75	460
KK100	333	167	-	-	1375	500
TK75+KK25	333	167	-	1031.25	343.75	525
TK50+KK50	333	167	-	687.5	687.5	520
TK25+KK75	333	167	-	343.75	343.75	520

Belirlenen malzemeler kullanılarak üretilen harç numuneler ise, TS EN 196-1 Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım standardına göre hazırlanmıştır [38]. Çalışmada iki tip numune kullanılmıştır. 40x40x160 mm boyutlu kalıplar eğilme ve basınç dayanımı deney numunelerinde, kılcallık ve su emme deneylerinde ise 50x50x50 mm boyutlu küp kalıplar kullanılmıştır (Resim 3.10). Harç üretiminde mikser, spatula, mala, cam mezür, hassas terazi, eldiven kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak doğal kum, TK, KK, kireç, çimento ve su hassas terazide tartılmış ve TS EN 196-1 standardında belirtilen kurallara göre mikserde karıştırılmıştır. Elde edilen harç karışımı, önceden içi yağlanmış kalıba iki aşamada yerleştirilmiştir. İlk aşamada taze harç hemen sarsma tablasındaki numune kalıbının yarısından biraz fazla doldurularak sarsma cihazı çalıştırılarak 60 vuruş yapılmıştır. Ardından kalıp üzerinde bir miktar fazla harç olacak şekilde doldurularak cihaz tekrar çalıştırılmış ve 60



Resim 3.10. (a,b) 50x50x50 mm küp harç ve 40x40x160 mm boyutlu prizmatik harç kalıpları

yapılmıştır. Sonra kalıp yüzeyi standartta belirtilen şekilde düzeltilerek üzerine cam plaka konulduktan sonra kodlama yapılmış ve kalıplar rutubetli kabine konularak 24 saat bekletilmiştir (Resim 3.11 (a) ve (b)). Ardından numuneler kalıptan çıkarılarak üzerine kodları yazılmış ve 7, 28 ve 90 gün süreyle kür ortamına bırakılmıştır. %100Ç numuneleri su havuzunda, %70Ç+ %30K harç numuneleri ise nemli bir kür kabininde bekletilmiştir.



Resim 3.11. (a,b) Kodlanmış harç numuneleri ve kireçli harçlar için nemli kür kabini

3.2.4. Taze harç deneyleri

Yayılma tablası deneyi

Bu deney, TS EN 1015-3 Kagitir Harcı - deney metotları - Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile) standardına göre yapılmıştır [39]. Deneyde Resim 3.12’de görülen yayılma tablası kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce, kesik koni şekilli kalıbın iç ve dış yüzü ve kenarları temiz ve nemli bir bezle silinip kurulandıktan sonra hafifçe yağlanmıştır. Kalıp yayılma tablası dairesel levhası üzerine merkezlenerek yerleştirildikten sonra taze harç, kalıp içerisine iki tabaka halinde her harç tabakasına tokmak ile harç yüzeyine düzgün şekilde dağılan en az 10 kısa vuruş yapılarak doldurulmuştur. Doldurulma esnasında kalıp üst yüzünden taşan fazla harç tesviye bıçağı ile sıyrılarak alınmıştır (Resim 3.12). Ardından ~15 s sonra kalıp düşey olarak yukarıya doğru yavaşça çekilerek alınmış ve dairesel levha üzerinde kalan harç kütlesi, yayılma tablası yaklaşık olarak saniyede bir defa olmak üzere 15 kere düşürülerek levhaya yayılmıştır. Yayılan harcın çapı, birbirine dik iki doğrultuda metre ile ölçülerek en yakın milimetreye yuvarlatılmak suretiyle kaydedilmiştir (Resim 3.13).



Resim 3.12. (a,b) Yayılma tablası ve kesik koninin doldurulması



Resim 3.13. (a,b) Yayılma Tablası ve ölçüm Şekli

Taze birim ağırlık deneyi

Deneyde hacmi belli olan bir kalıp ve aynı hassas terazi kullanılmıştır. Kalıp boş olarak tartılmış ve hazırlanan harç kalıbın içine doldurularak tekrar tartılmıştır (Resim 3.14). Birim hacim ağırlık aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Birim hacim ağırlığı (g/cm}^3\text{)} = \text{harcın yaşı ağırlığı} / \text{kalıp hacmi}$$

Burada:

$$\text{Kalıp hacmi} = \pi r^2 h \quad (3.5)$$

r = kalıp yarıçap (cm)

h = kalıp yüksekliği (cm)



Resim 3.14. Taze harç birim hacim ağırlık deneyinde numunenin tartılması

3.2.6. Sertleşmiş harç deneyleri

Harç numunelerinin eğilme ve basınç dayanımı deneyleri, harç yapımında CEN standart kumu yerine dere kumu, TK ve KK kullanıldığından, TS EN 1015-11 Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini [40] standardına göre 7, 28 ve 90 gün yaşındaki numuneler üzerinde yapılmıştır.

Birim ağırlık deneyi

Harç numuneleri kalıptan çıkarıldıktan hemen sonra hassas terazide tartılmış ve kütlesi bulunmuştur. Sonra numunenin hacmine bölünerek sertleşmiş harcın birim ağırlık değeri hesaplanmıştır.

Eğilme dayanımı deneyi

Bu deney, TS EN 1015-11 Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini standardına uygun olarak yapılmıştır [40]. Deney

cihazının yükleme hızı 30~90 s sürede kırılma meydana gelecek şekilde 10~50 N/s arasında seçilmiştir. Harç numuneleri deney günü kürden veya kabinden çıkarılmış ve kürden çıkarılan numuneler kurulandıktan sonra cihaza yerleştirilmiştir (Şekil 3.1). Deney cihazı çalıştırılarak numune kırılıncaya kadar sabit hızda yük uygulanmıştır (Resim 3.15). Harçların eğilme dayanımı değerleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır:

$$R_f = 1.5 (F_f \ell / b^3) \quad (3.6)$$

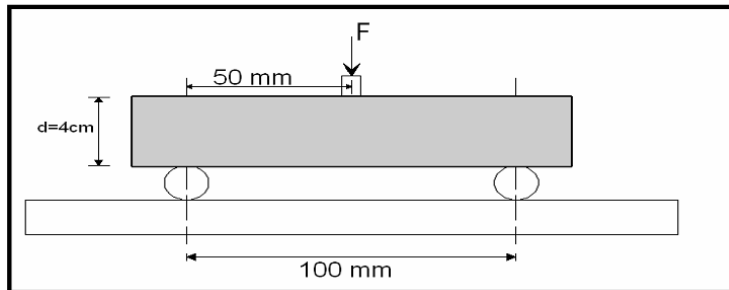
Burada:

R_f : Eğilmede çekme dayanımı (KN/mm²),

b : Numunenin kare uzunluğu (40 mm),

F : Numuneye uygulanan kuvvet (KN),

ℓ : Mesnet silindirlerin arasındaki uzunluk (100 mm),



Şekil 3.1. Cihazın eğilme deney aparatı bölümündeki numunenin şematik hali



Resim 3.15. Eğilme dayanımının uygulanma şekli

Basınç dayanımı deneyi

Deney TS EN1015-11 Kagit harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini standardına göre belirlenmiştir [40]. Deney eğilme deneyinden hemen sonra ortadan ikiye bölünen harç prizma numunelerine uygulanmıştır. Deney cihazının yükleme başlıkları temiz bir bezle silinmiş ve numune deney cihazına dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Deney cihazının yükleme hızı, yükte ani sıçrama olmaksızın 30~90 s sürede kırılma meydana gelecek şekilde 50 N/s olarak ayarlanmış ve numune kırılıncaya kadar sabit hızda yük uygulanmıştır (Resim 3.16). Harçların basınç dayanımı, numunenin taşıyabildiği en fazla yükün numune kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır.



Resim 3.16. Harç numunede basınç dayanımı deneyi

Kılcallık katsayısı ve kapiler su emme oranı tayini

Bu deney, TS EN 771-11 Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 11: Betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini standardına göre yapılmıştır [41]. 28 günlük 50×50×50 mm boyutlu küp harç numunelerine (Resim 3.17) kapiler su emme deneyi uygulanmıştır. Numuneler 24 saat etüvde kurutulduktan sonra tartılmış, sonra numunelerin suyla temas ettiği yan yüzlerden su emmemesi için etrafı 2 cm silikonla kaplanmıştır. Ardından numuneler deney kabına yerleştirilmiş ve sadece alt yüzlerinden suya değecek şekilde su ilave edilmiştir. Daha sonra kronometre yardımıyla süre tutularak 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 200 ve 240 dk larda numune tartımı yapılmıştır. Numunelerin kılcallık katsayısı ve kapiler su emme oranları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

$$N = \frac{m_1 - m_0}{A\sqrt{t}} \quad (3.7)$$

Burada:

N: Kılcallık katsayısı ($\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{dak}}$)

M₀: Numune kuru ağırlığı (g)

M₁: Numunenin suyla temas ettiği ağırlığı (g)

A: Numunenin suya değen taban alanı (cm^2)

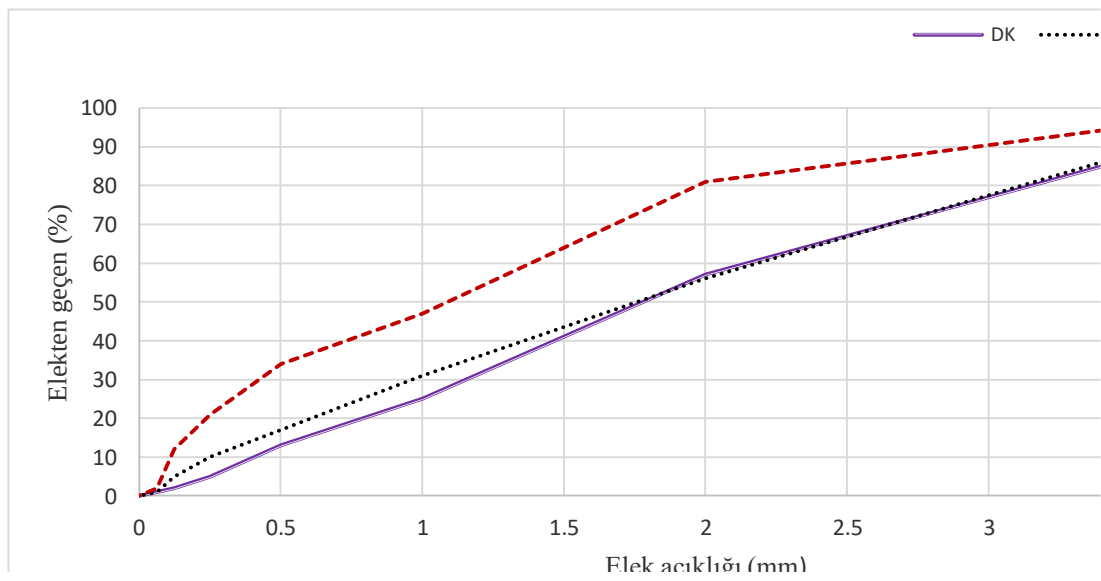
t: Numunenin suyla temas ettiği süre (dk)

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Agregat Özellikleri

4.1.1. Elek analizi

Elek analizi deneyinden elde edilen değerlere göre DK, TK ve KK nin granülometri eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan ince agregalara ait granülometri eğrileri

Şekil 4.1 incelendiğinde, DK, TK ve KK nin granülometri eğrilerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Doğal kum ve geri dönüşüm kumların elek analizi değerleri Çizelge 4.1.’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Doğal kum ve geri dönüşüm kumların elek analizi değerleri

Elek gözü (mm)	Elek üstünde geçen		
	DK (%)	TK (%)	KK (%)
4	97	99	100
2	57	56	81
1	25	31	47
0.5	13	17	34
0.25	5	10	21
0.125	2	5	12
0.063	1	1	2
pan	0	0	0

4.1.2. Yoğunluk

Doğal ve geri dönüşüm kumların yoğunluk ve su emme değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Doğal ve geri dönüşüm kumların yoğunluk ve su emme deney sonuçları

İnce agrega kodu	DK	TK	KK
Görünür tane yoğunluğu (g/cm ³)	2.6	2.7	2.7
Etüv kurusu tane yoğunluğu (g/cm ³)	2.4	2	2
DYK tane yoğunluğu (g/cm ³)	2.5	2.2	2.2
Su emme oranı (%)	3.6	15	14

Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere, kumlar arasında görünür tane yoğunluğu bakımından doğal kum en düşük, etüv kurusu tane yoğunluğu ile DYK tane yoğunluğu açısından ise TK ve KK en düşük değeri göstermiştir. Kullanılan kumlar su emme oranı açısından karşılaştırıldığında ise TK ve KK'nin DK'nin yaklaşık 4 katı fazla su emdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre harç karışımında geri dönüşüm kumların su ihtiyacının doğal kumdan oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

4.1.3. İncelik modülü

Harç karışımında kullanılan her üç kuma ait hesap yoluyla bulunan incelik modülü değerleri Çizelge 4.3’ te verilmiştir.

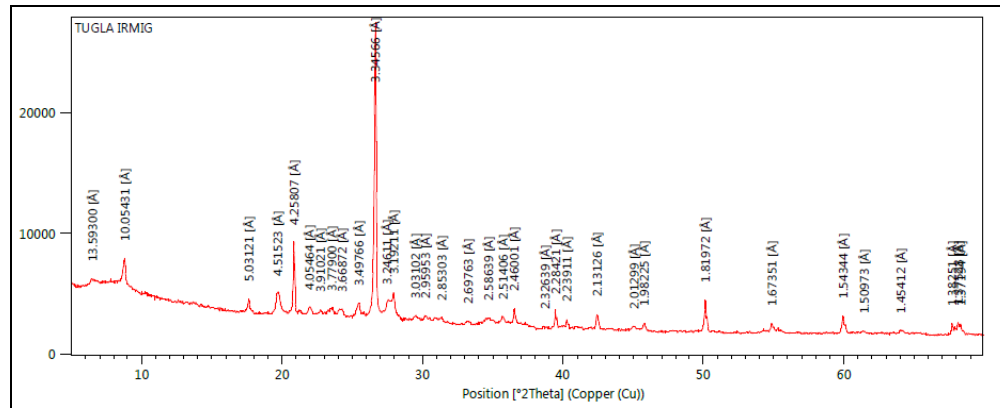
Çizelge 4.3. Harç karışımında kullanılan her üç kuma ait incelik modülü değerleri

İncelik modülü	DK	TK	KK
FM	2	2.97	2.1

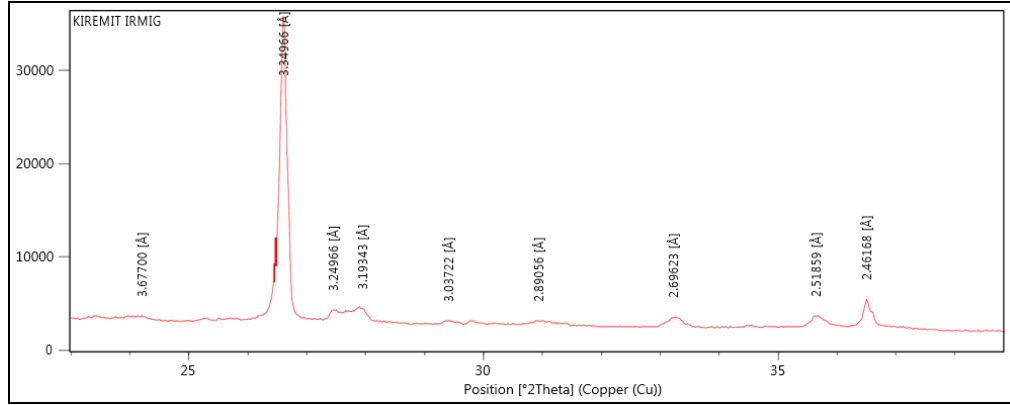
TS 2717 EN 13139 standardına göre incelik modülü değeri 3.6-2.4 arasında olanlar iri (CF), 2.8-1.5 arasında olanlar orta (MF) ve 2.1-0.6 arasında olanlar ise ince (FF) olarak adlandırılır [33]. Çizelge 4.3’teki sonuçlara göre, DK ve KK’nin ince sınıf (FF), TK’nin ise iri sınıf (CF) olduğu belirlenmiştir.

4.1.4. Mineralojik analiz

TK ve KK’nin yapılan mineralojik analiz deney sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre KK; Quartz, hematite, albite, dolomite, illite, calcite ve orthoclase, TK ise; Montmorillonite, orthoclase, calcite, illite, albite ve quartz içermektedir. TK ve KK’ye XRD eğrileri Şekil 4.2 ve 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. TK’ye ait XRD eğrisi



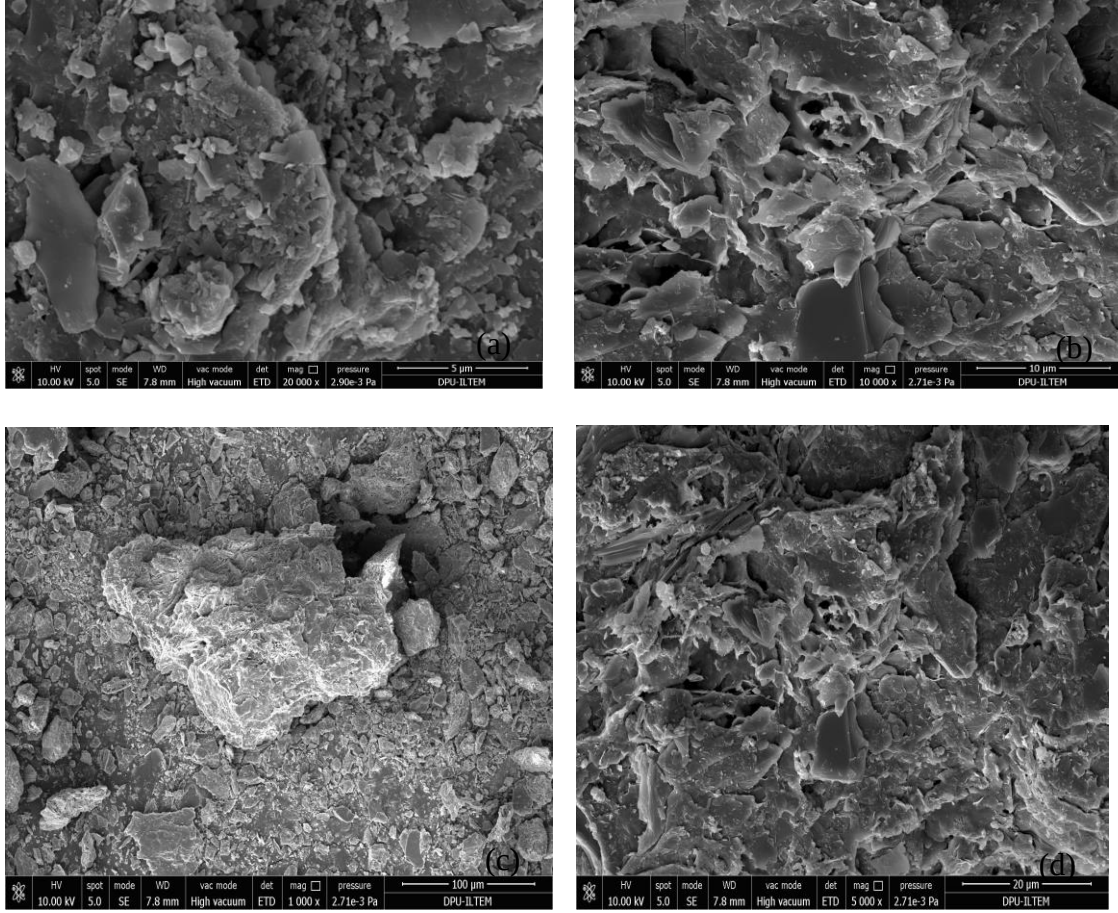
Şekil 4.3. KK'ye ait XRD eğrisi

Çizelge 4.4. TK ve KK'nin mineralojik analiz sonuçları

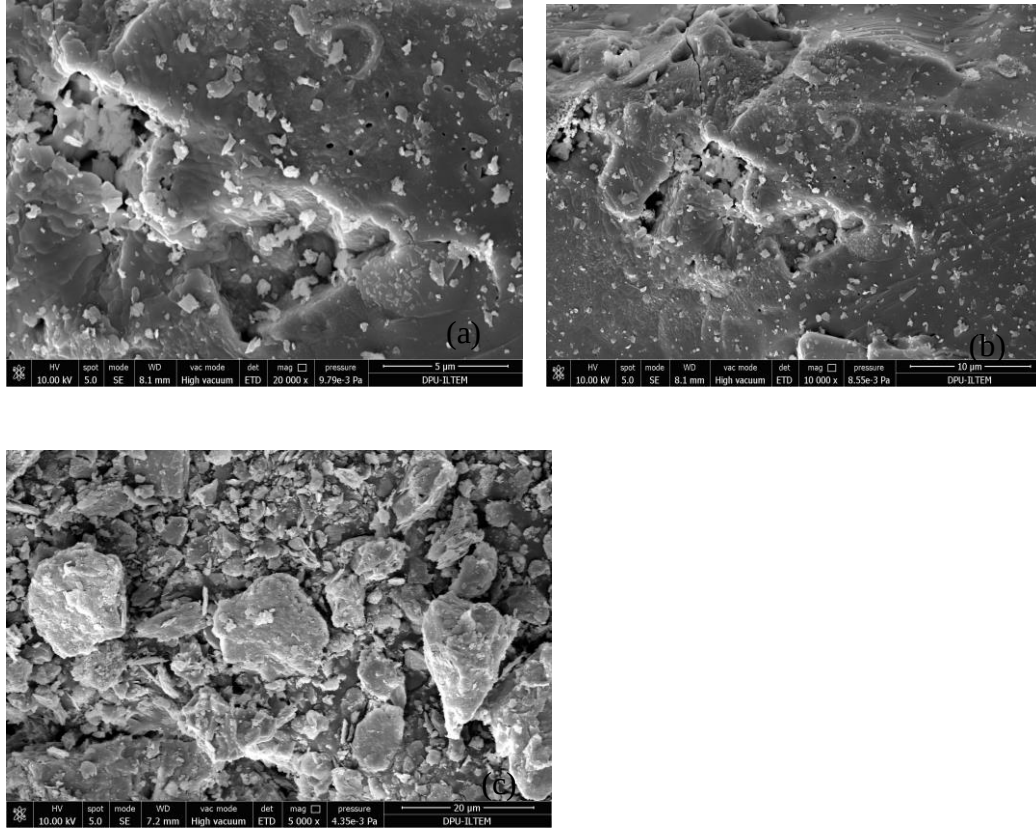
Hammadde	Mineral
KK	Quartz (low) Hematite Albite Dolomite İllite Calcite Orthoclase
TK	Quartz (low) Albite İllite Calcite Orthoclase Montmorillonite

4.1.5. Mikroskobik analiz

Deneysel çalışmada kullanılan hammaddelerin mikro yapıları, taramalı elektron mikroskop (SEM) ile incelenmiş ve elde edilen fotoğraflar Resim 4.1 ve Resim 4.2'de gösterilmiştir.



Resim 4.1. (a,b,c,d) KK mikroskobik analiz



Resim 4.2. (a,b,c) TK mikroskobik analiz

4.2. Çimento ile Çimento + Kireç Hamurunun Özellikleri

%100Ç ve %70Ç + %30K hamurlarının normal kıvam suyu, priz süreleri ve genleşme deney sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. %100Ç ve %70Ç + %30K hamurlarının fiziksel özellikleri

Özellik	%100Ç	%70Ç + %30K
Kıvam suyu (g)	160	192.5
Priz başı (dk)	140	155
Priz sonu (dk)	200	270
Genleşme (mm)	1	3

Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi, %100Ç hamurunun kıvam suyu, priz başı ve priz sonu süresi ile genleşme deney sonuçları %70Ç + %30K hamurundan daha düşük elde edilmiştir. Buna neden olarak karışıma giren sönmüş kirecin yoğunluğunun çimento yoğunluğundan 2.5 kat daha düşük olması gösterilebilir. Kireç çimentoya göre daha hafif olduğundan karışıma daha çok tane girmekte ve hamurun su ihtiyacını artırmaktadır. Karışıma daha çok su girdiğinden ve ayrıca kireç prizi geciktirdiği için sönmüş kirecin priz başı ve priz sonu

süreleri de sırasıyla %11 ve % 35 artış göstermiştir. Genleşme verilerine bakıldığında, %70Ç + %30K hamurunun %100Ç hamuruna göre daha fazla genleşme değerine sahip olduğu görülmektedir. Ancak ilgili standartta genleşme değeri maksimum 10 mm olarak kabul edildiğinden her iki hamurun genleşme değeri sınır değerlere uygundur.

4.3. Yayılma Tablası (İşlenebilirlik)

Doğal ve geri dönüşüm kum içeren %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının yayılma tablası deney sonuçları Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. %100Ç harcının yayılma tablası değerleri

Harç numune kodu	Yayılma (mm)
DK100	205
DK75+TK25	207
DK50+TK50	205
DK25+TK75	205
TK100	210
DK75+KK25	210
DK50+KK50	210
DK25+KK75	210
KK100	210
TK75+KK25	205
TK50+KK50	210
TK25+KK75	210

Çizelge 4.7. %70Ç + %30K harcının yayılma tablası değerleri

Harç numune kodu	Yayılma (mm)
DK100	210
DK75+KK25	210
DK50+KK50	205
DK25+KK75	208
TK100	210
DK75+KK25	210
DK50+KK50	210
DK25+KK75	210
KK100	210
KT75+KK25	205
KT50+KK50	210
KT25+KK75	210

Taze harç üretiminde işlenebilirliği sabit tutabilmek için yayılma değerinin 210 ± 5 mm olması hedeflenmişti. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi, bütün harç numunelerinde yayılma sonuçlarının 205 mm ile 210 mm arasında değerler aldığı dolayısıyla hedeflenen işlenebilirliğin bütün harçlarda sağlandığı görülmektedir.

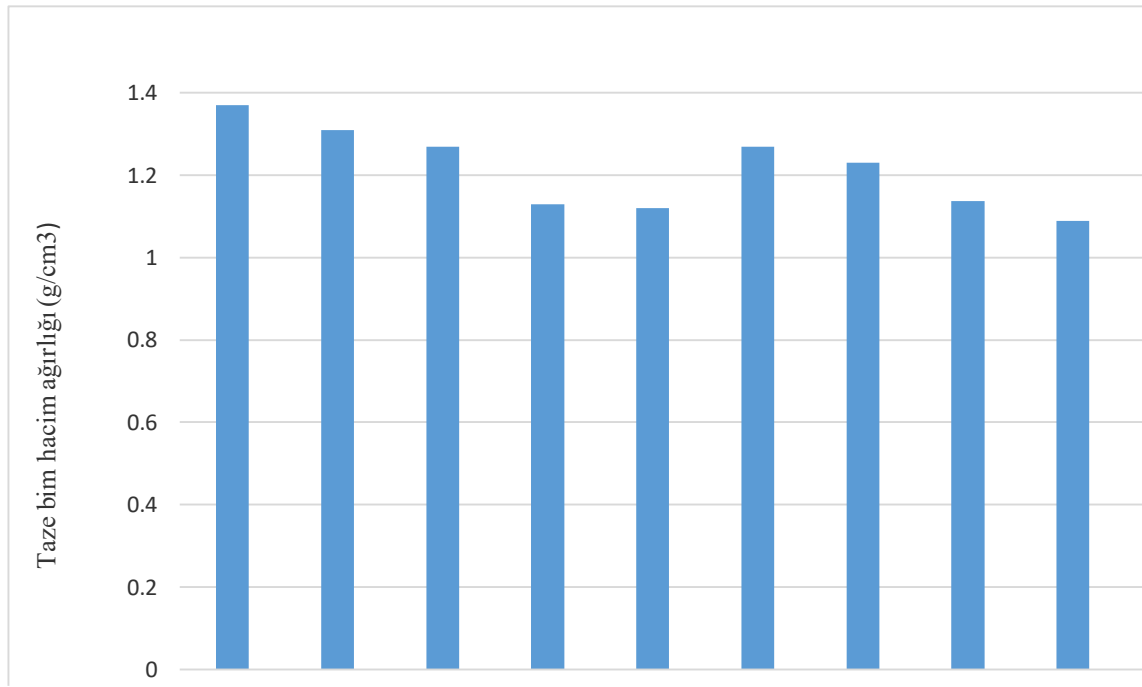
4.4. Taze Harçta Birim Hacim Ağırlık

Taze harç numunelere ait birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

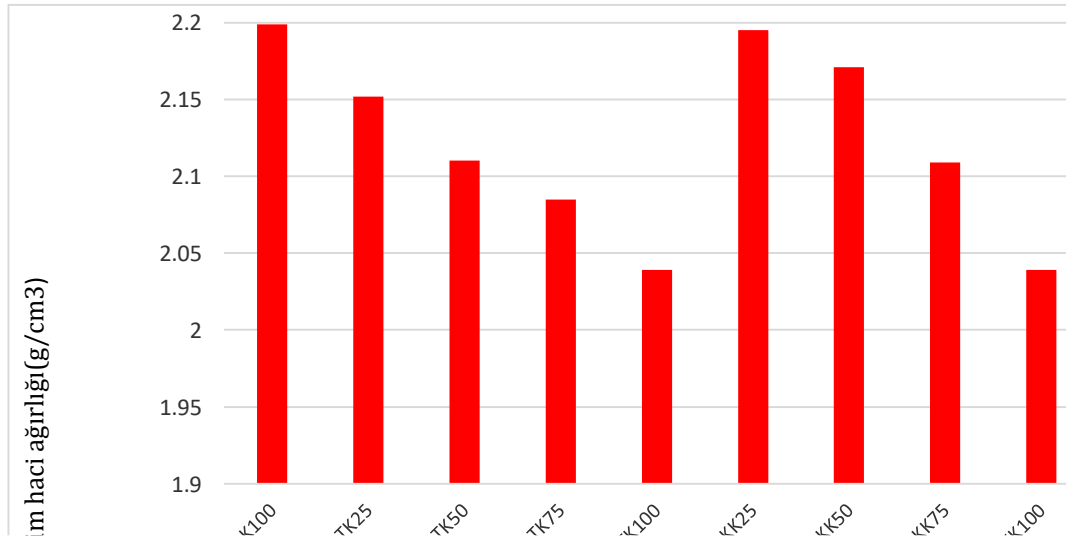
Çizelge 4.8. %100Ç ve %70Ç +%30K harcın birim hacim ağırlık sonuçları

Harç numune kodu	%100Ç taze birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	%70Ç + %30K taze birim hacim ağırlığı (g/cm ³)
DK100	1.37	2.03
DK75+TK25	1.31	1.95
DK50+TK50	1.27	1.88
DK25+TK75	1.18	1.81
TK100	1.12	1.76
DK75+KK25	1.29	1.96
DK50+KK50	1.23	1.91
DK25+KK75	1.14	1.85
KK100	1.09	1.79
TK75+KK25	1.11	1.76
TK50+KK50	1.10	1.78
TK25+KK75	1.09	1.79

Çizelge 4.8’e göre %100Ç taze birim hacim ağırlık deney sonuçları arasında en yüksek değer DK100 harcında ve en düşük KK100 ile TK25+KK75 harcında elde edilmiştir. %70Ç +%30K harçlarında ise taze birim hacim ağırlık deney sonuçları arasında en yüksek değer DK100 harcında ve en düşük değer ise TK100 ile TK75+KK25 harcında elde edilmiştir. Her iki harç karışımında geri dönüşüm agrega oranı arttıkça beklendiği gibi birim ağırlık değerleri azalmıştır. TK içeren numunelerin birim hacim ağırlık değeri KK içeren numunelerden biraz daha yüksek çıkmıştır. Şekil 4.4’te %100Ç’nin taze birim hacim ağırlık deney sonuçları, Şekil 4.5’te ise %70Ç +%30K’nin taze birim hacim ağırlık deney sonuçları gösterilmiştir. %70Ç + %30K içeren numunelerin birim hacim ağırlıkları %100Ç içeren numunelerden daha yüksektir. Buna neden olarak karışımda bağlayıcı olarak %30 oranında kireç kullanılması gösterilebilir. Sönmüş kirecin yoğunluğu daha düşük olduğundan çimento ile ikame yapıldığında harç karışımına hacimce daha çok su girmekte, bunun sonucu olarak da birim hacim ağırlık değerleri artmaktadır.



Şekil 4.4. %100Ç harçlarının taze birim hacim ağırlık grafiği



Şekil 4.5. %70Ç +%30K harçlarının taze birim hacim ağırlık grafiği

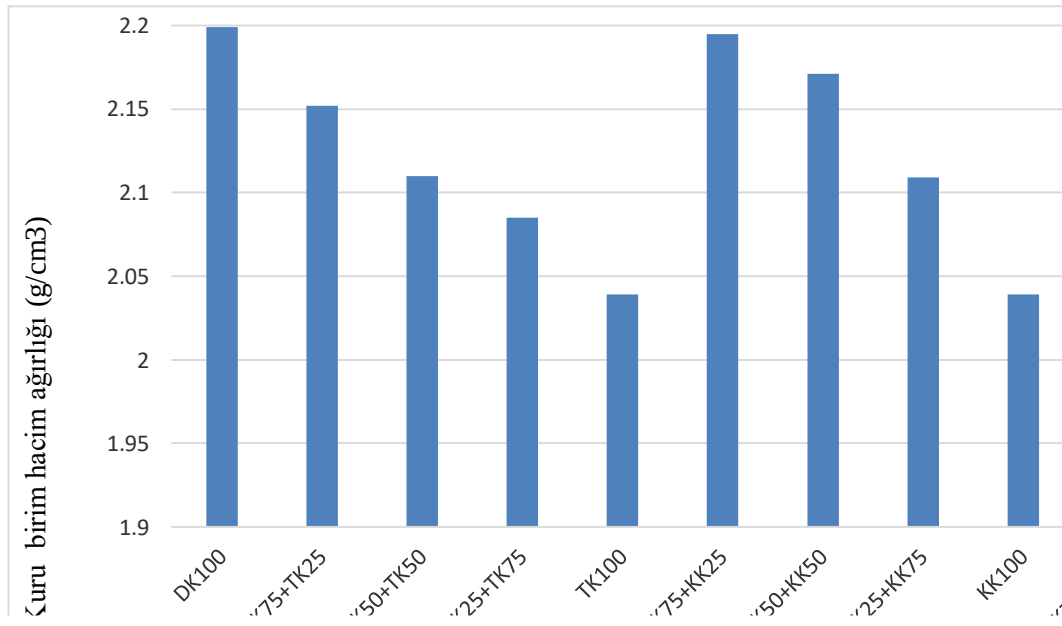
4.5. Sertleşmiş Harçta Birim Hacim Ağırlık

Harç numunelere ait sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

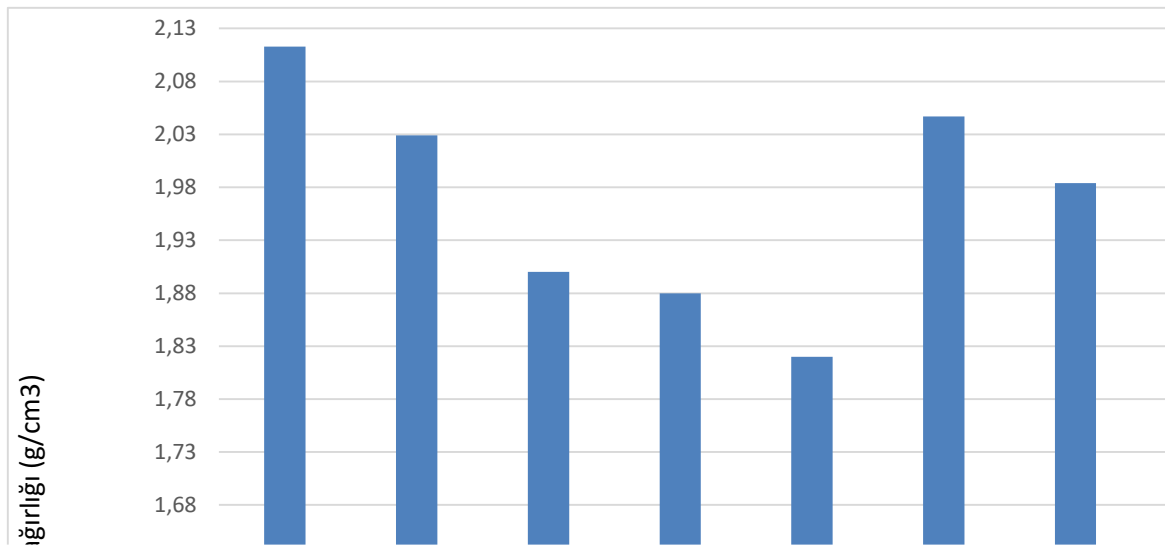
Çizelge 4.9. %100Ç ve 70Ç +%30K harçlarında sertleşmiş birim hacim ağırlık sonuçları

Harç numune kodu	%100Ç birim hacim ağırlık (g/cm ³)	%70Ç +%30K birim hacim ağırlık (g/cm ³)
DK100	2.20	2.11
DK75+TK25	2.15	2.03
DK50+TK50	2.11	1.96
DK25+TK75	2.08	1.88
TK100	2.04	1.82
DK75+KK25	2.16	2.05
DK50+KK50	2.12	1.98
DK25+KK75	2.09	1.93
KK100	2.04	1.88
TK75+KK25	2.05	1.83
TK50+KK50	2.04	1.85
TK25+KK75	2.04	1.87

Çizelge 4.9'a göre, %100Ç sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçları arasında en yüksek değer DK100 harcında ve en düşük TK100 ile KK100 harcında elde edilmiştir. %70Ç +%30K harçlarında ise sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçları arasında en yüksek değer DK100 harcında ve en düşük değer ise TK100 harcında elde edilmiştir. Şekil 4.6'da %100Ç'nin sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçları, Şekil 4.7'de ise %70Ç +%30K'nin sertleşmiş birim hacim ağırlık deney sonuçları gösterilmiştir. Her iki harç karışımında taze birim hacim ağırlıkta olduğu gibi geri dönüşüm agrega oranı arttıkça birim ağırlık değerleri azalmıştır. %100Ç içeren numunelerin birim hacim ağırlıkları %70Ç + %30K içeren numunelerden daha yüksektir. Bunun nedeni, %100Ç numuneleri kür havuzunda bekletilirken, %70Ç + %30K numuneleri rutubetli özel kabinde küre tabi tutulmuştur. Bu sonuç, kabindeki harç numunelerin bünyesindeki suyun bir kısmını kaybetmesi ile açıklanabilir.



Şekil 4.6. %100Ç harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlık grafiği



Şekil 4.7. %70Ç + %30K harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlık grafiği

4.6. Harçların Eğilme Dayanımı

Harç numunelerine ait eğilme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.10. %100Ç harçlarının eğilme dayanımı sonuçları

Harç numune kodu	Eğilme dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
DK100	5.6	6.9	9.0
DK75+TK25	5.4	6.3	7.2
DK50+TK50	5.2	5.7	6.6
DK25+TK75	4.8	5.5	6.3
TK100	4.7	4.9	6.0
DK75+KK25	5.5	6.5	7.2
DK50+KK50	5.3	6.0	6.8
DK25+KK75	5.0	5.8	6.5
KK100	4.9	5.5	6.3
TK75+KK25	4.6	5.3	6.0
TK50+KK50	4.6	5.3	6.2
TK25+KK75	4.7	5.5	6.2

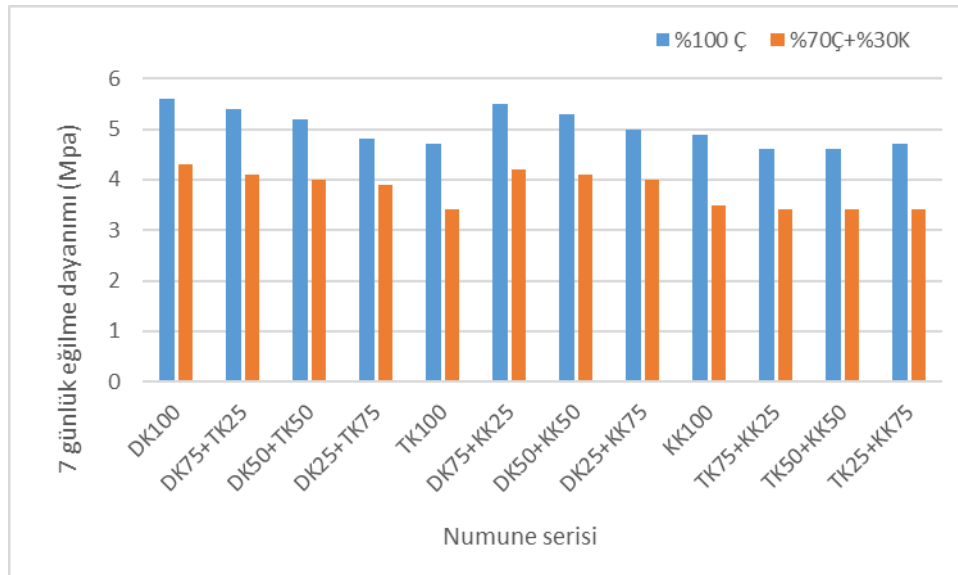
Çizelge 4.10’da görüldüğü gibi, harçların numune yaşı arttıkça eğilme dayanımları da artmaktadır. %100Ç harçlarının eğilme dayanımları 7 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK75+KK25 ve TK50+KK50’de, 28 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100’de ve 90 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100 ile TK75+KK25 harçlarında elde edilmiştir. Bütün yaşlarda KK100 içeren numunelerin eğilme dayanımları TK100 içeren numunelerden çok az yüksek olduğu görülmüştür. Beklendiği gibi harç karışımlarında geri dönüşüm ince agrega oranı artıkça dayanımlar azalmaktadır. Öte yandan TK ve KK’nin birlikte kullanıldığı harçlar incelendiğinde ise, dayanımların TK veya KK oranındaki değişikliğe rağmen hemen hemen aynı değerleri aldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. %70Ç+ %30K harçlarının eğilme dayanımı sonuçları

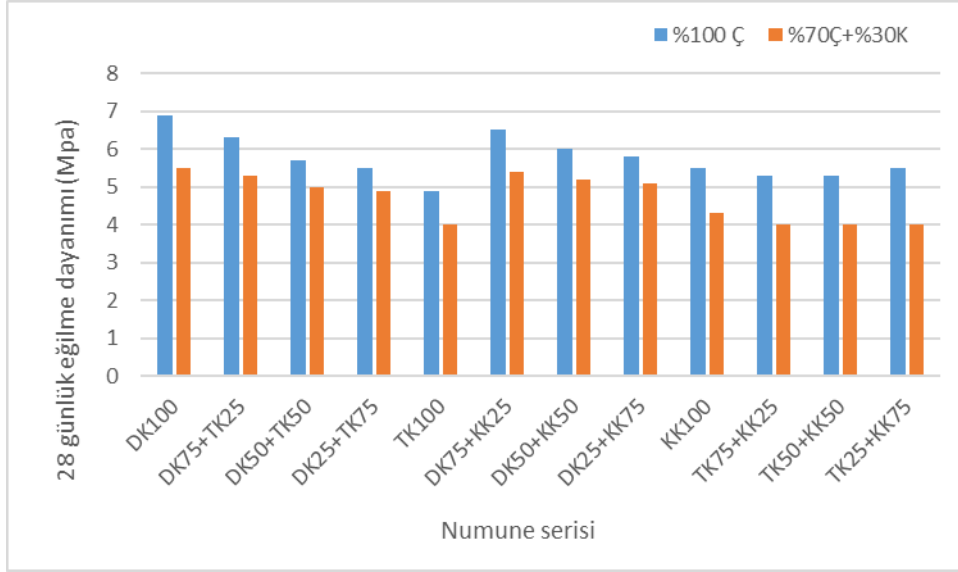
Harç numune kodu	Eğilme dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
DK100	4.3	5.5	5.8
DK75+TK25	4.1	5.3	5.6
DK50+TK50	4.0	5.0	5.4
DK25+TK75	3.9	4.9	5.1
TK100	3.4	4.0	4.4
DK75+KK25	4.2	5.4	5.5
DK50+KK50	4.1	5.2	5.4
DK25+KK75	4.0	5.1	5.2
KK100	3.5	4.3	4.5
TK75+KK25	3.4	4.0	4.4
TK50+KK50	3.4	4.0	4.5
TK25+KK75	3.4	4.0	4.5

Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi, %100Ç harçlarına benzer şekilde harçların numune yaşı arttıkça eğilme dayanımları da artmaktadır. %70Ç + %30K harçlarının eğilme dayanımları 7 ve 28 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100 ile TK ve KK’nin birlikte kullanıldığı harçlarda ve 90 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100 ile TK75+KK25 harçlarında elde edilmiştir. Şekil 4.8’de %100Ç ve %70Ç + %30K’nin 7 günlük eğilme dayanımları, Şekil 4.9’da 28 günlük eğilme dayanımları ve Şekil 4.10’da ise 90 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir. Bütün yaşlarda KK100 içeren numunelerin eğilme dayanımları TK100 içeren numunelerden çok az yüksek elde edilmiştir. %100Ç harçlarındaki gibi harç karışımlarında geri dönüşüm ince agrega oranı artıkça eğilme dayanımları da azalmaktadır. Diğer taraftan TK ve KK’nin birlikte kullanıldığı harçlar incelendiğinde, dayanımların TK veya KK oranındaki değişikliğe rağmen hemen hemen aynı değerleri aldığı belirlenmiştir.

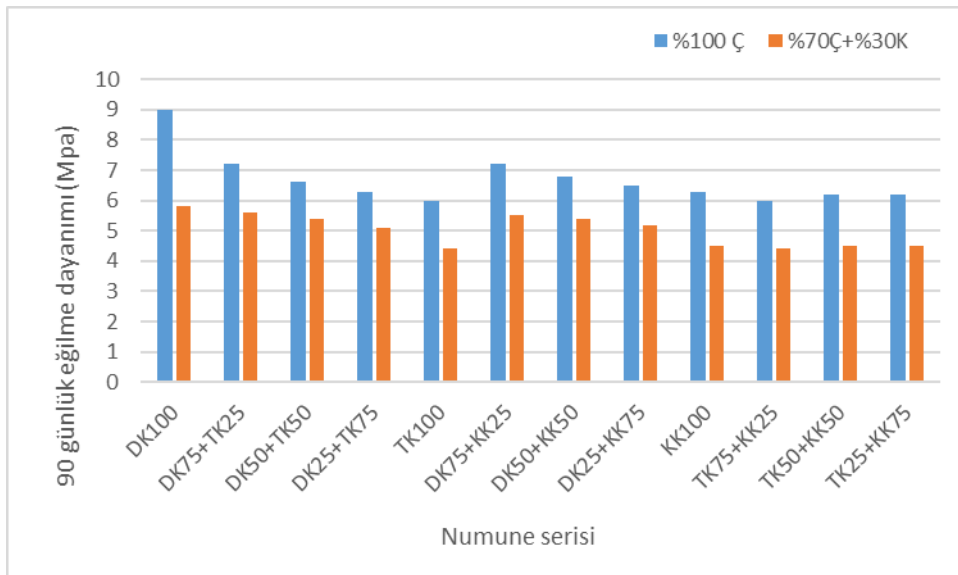
Diğer taraftan her iki bağlayıcı kullanılan harçlar birbirleri ile kıyaslandığında, bütün yaşlarda %100Ç harçları %70Ç + %30K harçlarının eğilme dayanımından daha yüksektir. Bu durum, harç karışımına giren kirecin dayanımları azaltması ile açıklanabilir.



Şekil 4.8. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının 7 günlük eğilme dayanımı grafiği



Şekil 4.9. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının 28 günlük eğilme dayanımı grafiği



Şekil 4.10. 100% Ç ve %70 Ç+%30 K harçlarının 90 günlük eğilme dayanımı grafiği

4.7. Harçların Basınç Dayanımı

Harç numunelerine ait basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.12. %100Ç harçlarının basınç dayanımı sonuçları

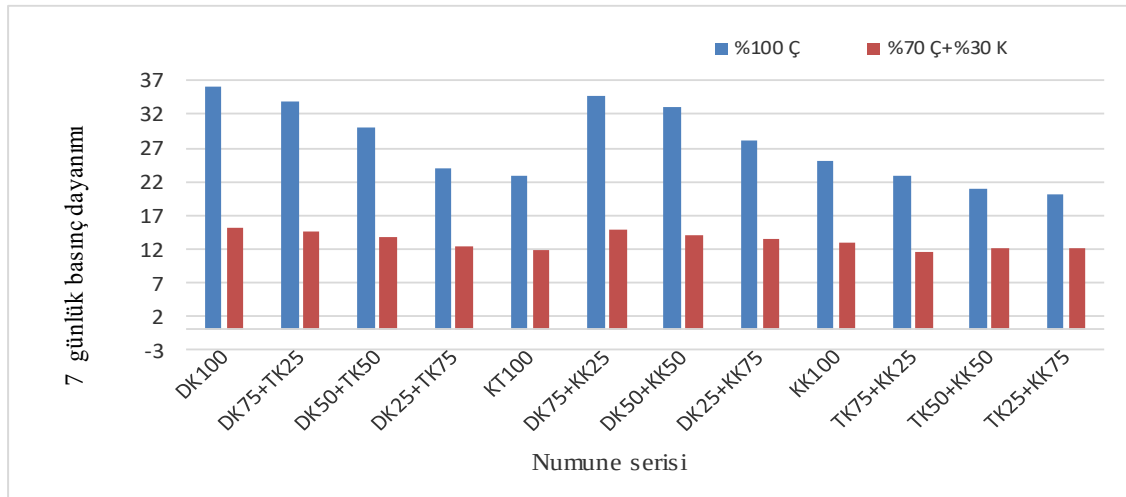
Harç numune kodu	7 gün	28 gün	90 gün
DK100	36	43	48
DK75+TK25	34	41	46
DK50+TK50	30	38	43
DK25+TK75	24	33	35
TK100	23	26	35
DK75+KK25	35	40	47
DK50+KK50	33	35	44
DK25+KK75	28	31	38
KK100	25	27	36
TK75+KK25	23	27	32
TK50+KK50	24	28	32
TK25+KK75	25	28	33

Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere, harçlarda numune yaşı arttıkça basınç dayanımları da artış göstermektedir. %100Ç harçlarının basınç dayanımları 7 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK25+KK75’de, 28 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100’de ve 90 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK75+KK25 ile TK50+KK50 harçlarında elde edilmiştir. Bütün yaşlarda KK100 içeren numunelerin basınç dayanımları TK100 içeren numunelerden çok az yüksek olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımlarında görüldüğü gibi harç karışımlarında geri dönüşüm ince agrega oranı arttıkça harçların basınç dayanımları da azalmaktadır. Diğer taraftan TK ve KK’nin birlikte kullanıldığı harçlara bakıldığında, dayanımların TK veya KK oranındaki değişikliğe rağmen değişmediği görülmüştür.

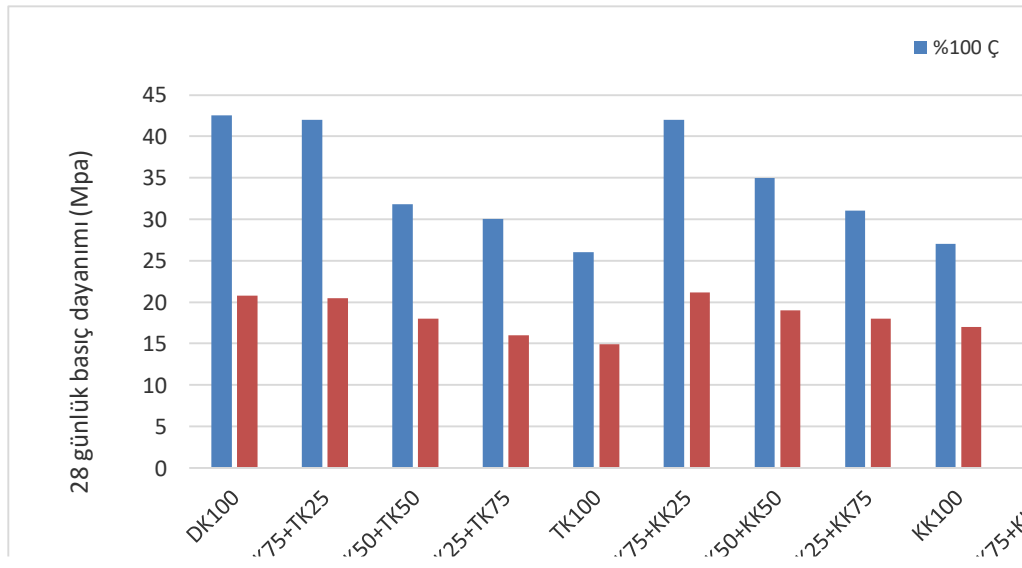
Çizelge 4.13. %70Ç + %30K harçlarının basınç dayanımı sonuçları

Harç numune kodu	7 gün	28 gün	90 gün
DK100	15	23	28
DK75+TK25	15	21	24
DK50+TK50	14	18	22
DK25+TK75	13	16	20
TK100	12	15	19
DK75+KK25	15	22	25
DK50+KK50	14	19	23
DK25+KK75	14	18	23
KK100	13	17	22
TK75+KK25	12	14	21
TK50+KK50	12	15	22
TK25+KK75	12	15	22

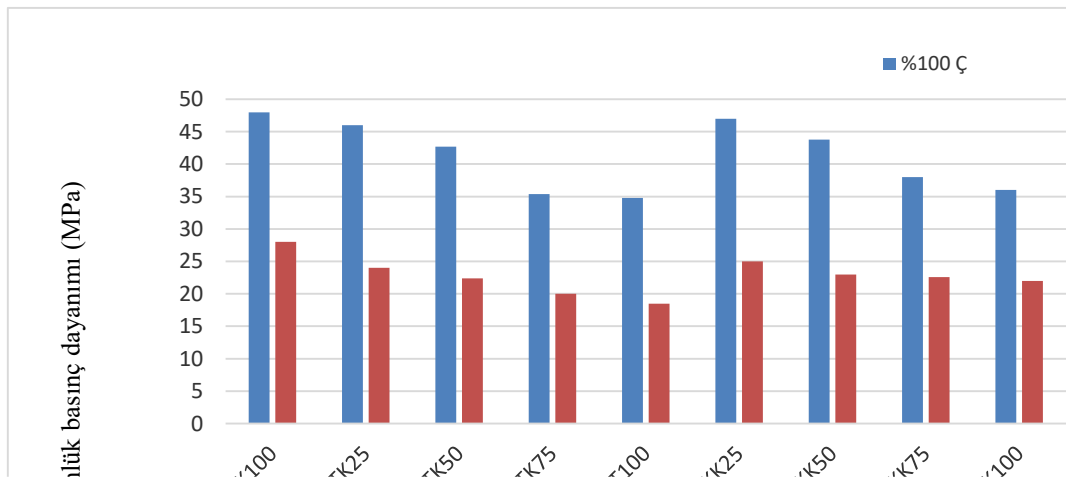
Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi, %70Ç + %30K harçlarının basınç dayanımları %100Ç harçlarına benzer şekilde numune yaşı arttıkça dayanımlar da artış göstermiştir. %70Ç + %30K harçlarının basınç dayanımları 7 ve 28 günlükte en yüksek DK100 ve en düşük TK100 ile TK ve KK'nin birlikte kullanıldığı harçlarda ve 90 günlükte ise en yüksek DK100 ve en düşük TK100 harcında elde edilmiştir. Şekil 4.11'de %100Ç ve %70Ç + %30K'nin 7 günlük basınç dayanımları, Şekil 4.12'de 28 günlük basınç dayanımları ve Şekil 4.13'te ise 90 günlük basınç dayanımları gösterilmiştir. Bütün yaşlarda KK100 içeren numunelerin basınç dayanımlarının TK100 içeren numunelerden çok az yüksek olduğu görülmektedir. %100Ç harçlarındaki gibi harç karışımlarında geri dönüşüm ince agrega oranı arttıkça basınç dayanımları da azalmaktadır. Diğer taraftan her iki bağlayıcı kullanılan harçlar birbirleri ile kıyaslanması durumunda, bütün yaşlar için %100Ç harçlarının basınç dayanımları %70Ç + %30K harçlarından daha yüksek elde edilmiştir. Buna neden olarak, harç karışımına giren kirecin dayanımları düşürmesi gösterilebilir.



Şekil 4.11. %100 Ç ve %70Ç + %30K'nin 7 günlük basınç dayanımları



Şekil 4.12. %100 Ç ve %70Ç + %30K'nin 28 günlük basınç dayanımları



Şekil 4.13. %100 Ç ve %70Ç + %30K'nin 90 günlük basınç dayanımları

4.8. Harçlarda Kapiler Su Emme

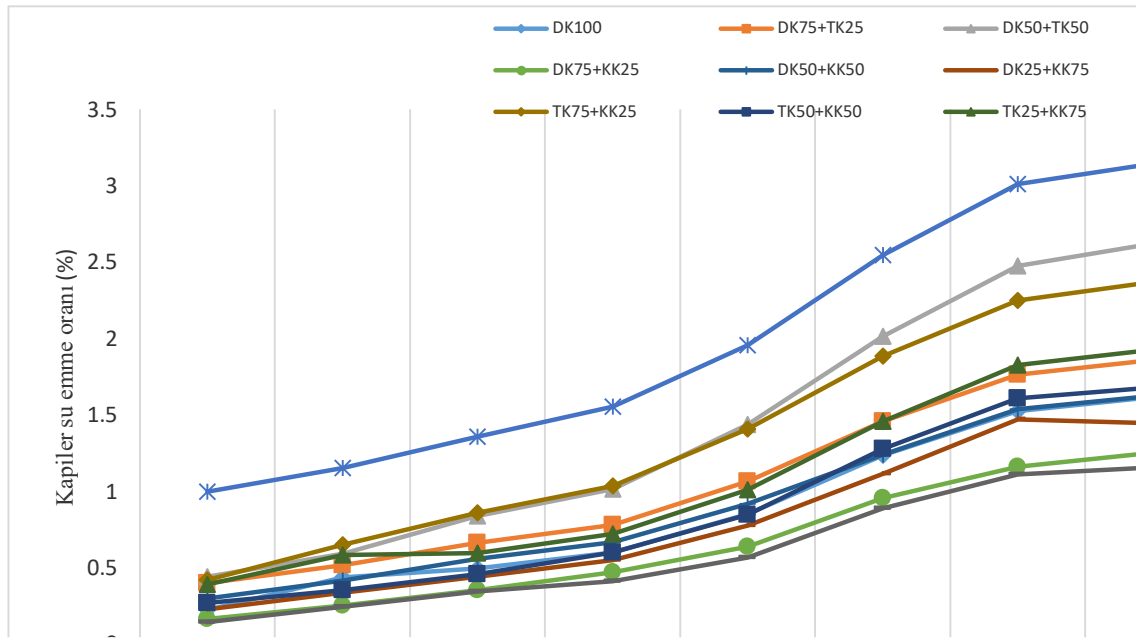
Harçlarda kapiler su emme ve kılcallık katsayısı deney sonuçları Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.14'te %100 Ç ve Şekil 4.15'te %70Ç + %30K harçlarının kapiler su emme oranı eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. %100Ç harçlarının kapiler su emme ve kılcallık katsayısı değerleri

Harç numune kodu	Kılcallık katsayısı (cm ³ /cm ² $\sqrt{dak}$)	Kapiler su emme oranı (%)							
		5 dk	10 dk	20 dk	30 dk	60 dk	120 dk	180 dk	240 dk
DK100	2.41	0.22	0.44	0.49	0.60	0.85	1.24	1.53	1.77
DK75+TK25	2.52	0.39	0.51	0.66	0.77	1.06	1.46	1.76	2.01
DK50+TK50	3.04	0.44	0.59	0.84	1.01	1.43	2.01	2.48	2.86
DK25+TK75	3.77	-	-	-	-	-	-	-	-
TK100	4.26	1.00	1.15	1.35	1.55	1.96	2.55	3.01	3.38
DK75+KK25	2.50	0.16	0.25	0.35	0.47	0.63	0.96	1.16	1.39
DK50+KK50	2.82	0.30	0.41	0.56	0.67	0.92	1.24	1.54	1.75
DK25+KK75	3.12	0.22	0.33	0.44	0.55	0.77	1.11	1.47	1.57
KK100	3.47	0.14	0.24	0.34	0.41	0.56	0.89	1.11	1.30
TK75+KK25	4.16	0.42	0.65	0.86	1.04	1.41	1.88	2.25	2.58
TK50+KK50	4.03	0.27	0.35	0.46	0.60	0.84	1.28	1.61	1.82
TK25+KK75	3.47	0.39	0.58	0.59	0.72	1.01	1.46	1.83	2.10

Çizelge 4.14'e bakıldığında, kılcallık katsayısı en yüksek TK 100'de ve en düşük DK100'de elde edilmiştir. TK ve KK kılcallık bakımından kıyaslandığında TK içeren numunelerin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Harçlarda süre ilerledikçe kapiler su emme oranlarının yükseldiği görülmüştür. %100Ç harçları birbirleri ile karşılaştırıldığında, karışıma giren TK kapiler su emme oranlarını artırırken, KK bu oranları azaltmaktadır.



Şekil 4.14. %100 Ç harçlarının kapiler su emme oranı grafiği

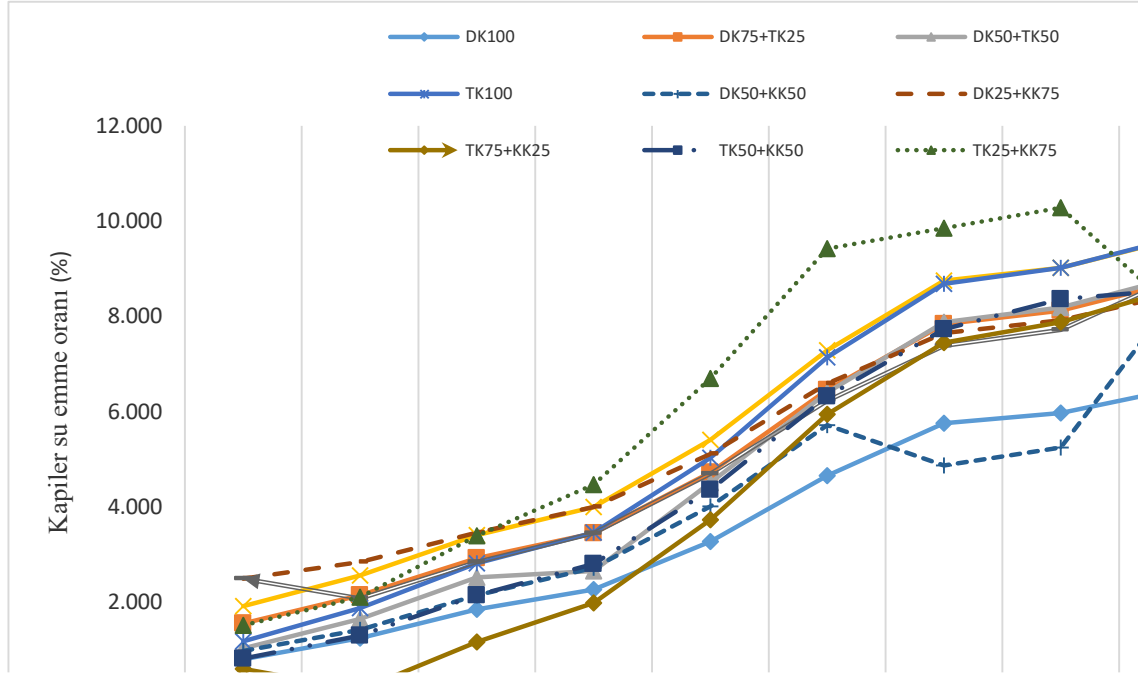
Çizelge 4.15. %70Ç + % 30K harçlarının kapiler su emme oranı ve kılcallık katsayısı sonuçları

Harç numune kodu	Kılcallık katsayısı ($\text{cm}^3/\text{cm}^2\sqrt{\text{dak}}$)	Kapiler su emme oranı (%)							
		5 dk	10 dk	20 dk	30 dk	60 dk	120 dk	180 dk	240 dk
DK100	10.44	0.78	1.23	1.84	2.25	3.26	4.65	5.75	6.47
DK75+TK25	14.09	1.54	2.13	2.91	3.44	4.71	6.45	7.83	8.73
DK50+TK50	14.25	1.01	1.64	2.51	2.65	4.49	6.39	7.88	8.83
DK25+TK75	15.55	1.90	2.55	3.40	3.98	5.40	7.28	8.74	9.63
TK100	15.57	1.16	1.86	2.80	3.45	5.02	7.12	8.68	9.65
DK75+KK25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DK50+KK50	13.63	0.97	1.41	2.13	2.71	4.00	5.70	4.86	8.44
DK25+KK75	13.69	2.48	2.83	3.45	3.98	5.11	6.58	7.65	8.48
KK100	14.23	2.48	2.07	2.83	3.44	4.69	6.21	7.38	8.82
TK75+KK25	13.86	0.58	0.14	1.15	1.97	3.72	5.94	7.43	8.59
TK50+KK50	13.80	0.80	1.28	2.13	2.79	4.34	6.32	7.72	8.55
TK25+KK75	13.03	1.50	2.09	3.38	4.45	6.69	9.41	9.85	8.07

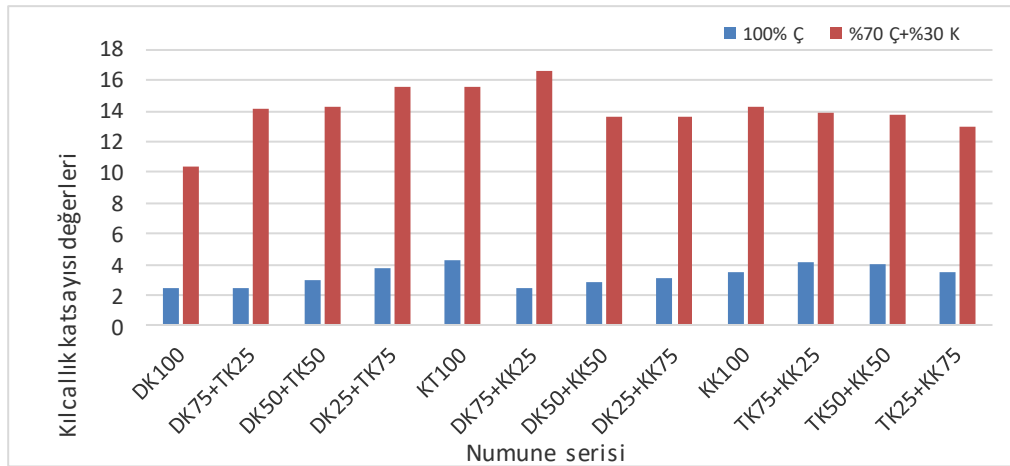
Çizelge 4.15'e bakıldığında, %100Ç harçlarında olduğu gibi kılcallık katsayısı en yüksek TK 100'de ve en düşük DK100'de elde edilmiştir. TK ve KK kılcallık bakımından kıyaslandığında çimento harcındaki gibi TK içeren numunelerin kılcallığının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.16'da 100%Ç ve %70Ç + %30K harcın kılcallık katsayısı değerleri gösterilmiştir. Her iki grup harç birbiriyle kıyaslandığında, %70Ç + %30K harçlarının kılcallık değeri,

%100Ç harçlarından üç-dört kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, harç içindeki kirecin harcın kılcallığını artırmasıdır.



Şekil 4.15. %70 Ç+%30 K harçlarının kapiler su emme oranı grafiği



Şekil 4.16 100% Ç ve %70 Ç+%30 K harcın kılcallık katsayısı grafiği

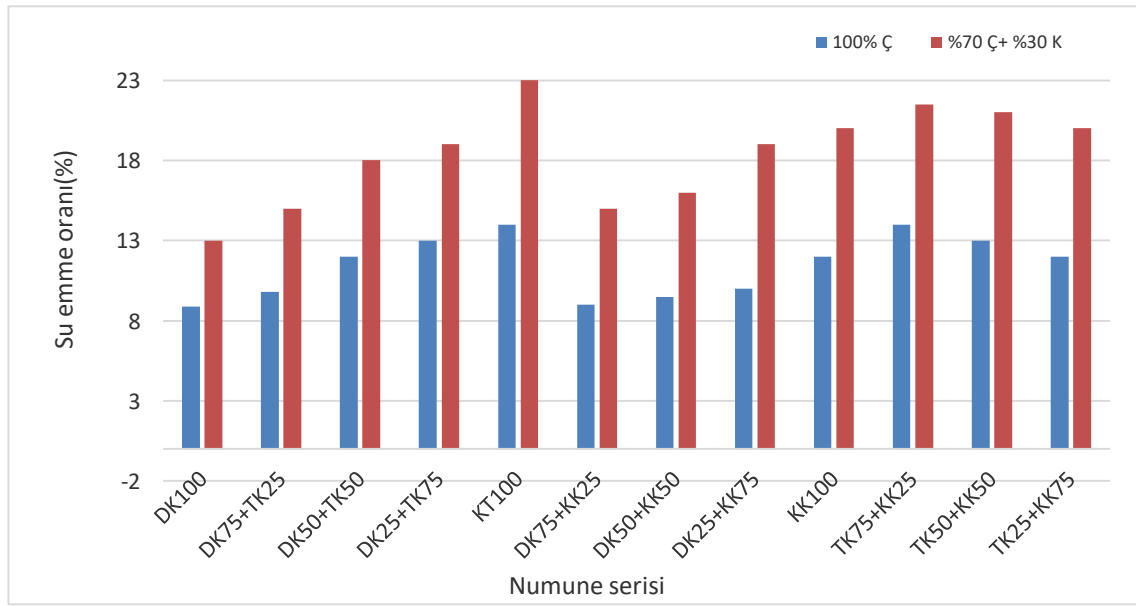
4.9. Harçlarda Su Emme Oranı

%100Ç ve %70Ç + %30K harç numunelerine ait su emme oranı deney sonuçları Çizelge 4.16'da ve bu harçlara ait su emme oranı grafiği Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. %100Ç ve %70Ç + %30K harcın su emme oranları

Harç numune kodu	Su emme oranı (%)	
	%100Ç	%70Ç+%30K
DK100	9	13
DK75+TK25	10	15
DK50+TK50	12	18
DK25+TK75	13	19
TK100	14	23
DK75+KK25	9	15
DK50+KK50	10	16
DK25+KK75	10	19
KK100	12	20
TK75+KK25	14	22
TK50+KK50	13	21
TK25+KK75	12	20

Çizelge 4.16 ile Şekil 4.17'ye bakıldığında, hem %100Ç hem de %70Ç + %30K harçlarında en yüksek ve en düşük su emme oranları, sırasıyla TK100 ve DK100'de elde edilmiştir. Bu sonuçlar agrega su emme deneyi sonuçlarını doğrulamaktadır. Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi dere kumunun su emme oranı en düşük, TK'nin su emme oranı ise en yüksektir. Her iki harç grubu karışımları için karışımdaki KK ve TK oranı arttıkça su emme oranlarının yükseldiği görülmüştür. TK içeren harçların su emme oranlarının KK içeren harçlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç da Çizelge 4.2'de verilen deney sonucunu doğrulamaktadır. Her iki harç grubu birbiri ile kıyaslandığında ise, %70Ç + %30K harçlarında su emme oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.17. %100Ç ve %70Ç + %30K harçlarının su emme oranı grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı oranlarda geri dönüşüm TK ve KK ince agregaların harç üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Geri dönüşüm TK ve KK ince agregaların granülometrisinin dere kumuna yakın olduğu görülmüştür.
- Geri dönüşüm TK ve KK ince agregaların yoğunluğu doğal agregaya göre daha düşüktür.
- Geri dönüşüm TK ve KK ince agregaların su emme oranı dere kumuna göre daha yüksektir.
- %100Ç harcına göre %70Ç + %30K içeren harcın kıvam suyu ve genleşme değerlerinin daha yüksek olduğu ve prizi daha uzun sürede aldığı gözlenmiştir.
- Hem %100Ç serisinde hem de %70Ç + %30K serisinde karışımdaki TK ve KK yer değiştirme oranı arttıkça sertleşmiş ve taze birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır.
- Her iki harç grubunda sabit işlenebilirliği sağlamak için TK ve KK daha çok su emdiğinden karışımına giren su miktarı artış göstermiştir.
- %70Ç + %30K serisinde harç karışımına giren su miktarı, %100Ç serisinden daha fazladır.
- Her iki harç grubunda TK ve KK yer değiştirme oranı arttıkça 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımları azalmıştır.
- %100Ç harç serisinin eğilme ve basınç dayanımı değerleri, %70Ç + %30K harç serisinden daha yüksek elde edilmiştir.
- %70Ç + %30K serisinin kapiler su emme değerleri, %100Ç serisinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- %70Ç + %30K serisinin kılcallık katsayısı değerleri, %100Ç serisinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- %70Ç + %30K serisinin su emme oranı değerleri, %100Ç serisinden daha yüksek elde edilmiştir.
- Elde edilen deney sonuçlarına göre hem TK hem de KK harç yapımında ince agrega olarak kullanılabilir.
- TK ve KK ile üretilen harçların dayanıklılık deneylerinin de yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Öztürk, M. (2017). İnşaat Yıkıntı Atıkları Yönetimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
2. İnternet: Kum tüketiminde geline nokta: Kumdan kale bile yapamayacaksınız!, URL: <https://yesilgazete.org/blog/2017/09/27/kum-tuketiminde-gelenen-nokta-kumdan-kale-bile-yapamayacaksiniz-berk-oktem>, Son Erişim Tarihi: 25.5 2019
3. Canbaz, M. (2012). Cam, seramik ve pişmiş kil atıklarının beton teknolojisinde değerlendirilmesi, 6. *Ar-Ge proje pazarı*, Eskişehir.
4. Sofyanlı, Ö. (2015). *Silis Dumanı Katkılı Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
5. Demir, İ. (2009). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 105 -114.
6. Erdin, E., Alten, A. & Tunalı, T. (2004). *İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi*, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. 387-393, İzmir.
7. Adam, J.P. (2005), *Roman Building: Materials and Techniques*, Routledge, 116, Londra.
8. Khalaf, F.M. ve DeVenny, A.S. (2004). Recycling of demolished masonry rubble as course aggregate in concrete: review, *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 331-340.
9. British Geological Survey (2008). Aggregates supply in England , *issuesfor planning*, Nottingham.
10. British Geological Survey (2008). Managing aggregates supply in England, *a review of the current system and future options*, Nottingham.
11. Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G., İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*. 387-393, İzmir.
12. Rao, A., Kumar, N., Jha ve Misra, S. (2007), Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50,71-81.
13. İnternet:European Aggregates Association (UEPG), Aggregates from Construction & Demolition Waste in Europe [http://www.uepg.eu/uploads/documents/pub12_enplaquette](http://www.uepg.eu/uploads/documents/pub12_enplaquette.pdf). pdf.
14. DPT, (2000). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, *Taş Ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel ihtisas Komisyonu Raporu*, Ankara.

15. Yanık, G., (2005). *Turgutlu (Manisa) Neojen Oluşuklarının Tuğla Kiremit Hammaddesi Yönünden Mineralojik Petrografik ve Jeokimyasal incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
16. Çakar, B. (2009). *Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
17. Emrullahoğlu, C. B., Karademir, H., Emrullahoğlu, Ö.F. (2004). *Tuğla Kırıklarının Tuğla Üretiminde Kullanımı*, 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 199-203.
18. Çiftci, M.M. (2004). *Samsun-Kavak Tuğla Ununun Çimento Harcında Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Ankara, 55.
19. Özdamar, Z., Yavuz, B. (2005). Türk Yapı Sektörü Raporu, *Yapı-Endüstri Merkezi*, İstanbul, 70-77, 100-102, 147-160.
20. Mavi Ö .(2002). *Kireç Harç ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
21. Eriç, M. (2002). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Kazmaz Matbaası, İstanbul.
22. Orton A. (1986). *Structural Design of Masonary*, New York.
23. TS EN 998-1 Kâgir harcı - Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
24. Ceran, A. (2008). *Polimer Esaslı Lateks Katkının Çimento Harç Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
25. Neno, C, de Brito, J. ve Veiga, R. (2014). Using fine recycled concrete aggregate for mortar production, *Material and Resources*, 168-177.
26. Hanžič, H., Mautinger, A., Jurič, B., Oliveira, P. (2008), Water retention capability of mortars made of recycled aggregate, *In: Proceedings of the SB08 World Sustainable Building Conference*, Melbourne, 615-621.
27. Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, A. ve Frias, M. (2009). Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates, *Material and Construction*, 59 (295), 5-18.
28. Jimenez, J.R., Ayuso, J., Lopez, M., Fernandez, J.M., De Brito, J. (2013), Use of fine recycled aggregates from a ceramic waste in masonry mortar manufacturing, *Construction and Builing Material*, 40, 679-690.
29. Corinaldesi, V., Moriconi, G. (2009). Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and Building Material*, 23, 289-294.

30. Martínez, I., Etxeberria, M., Pavon, E., Díaz, N., A. (2013). Comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Material*, 49, 384-392.
31. Lee, S.T. (2009). Influence of recycled fine aggregates on the resistance of mortars to magnesium sulfate attack, *Waste Management*, 2385–2391.
32. Ledesma, E.F., Jiménez, J.R., Ayuso, J., Fernández, J.M., de Brito, J. (2015). Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for ecomortar production, *Part-I: Ceramic masonry waste, Journal Cleaner Production*, 87, 692–706.
33. TS 2717 EN 13139 Agregalar - Harç yapımı için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
34. TS EN 933-1 Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-Elemente metodu, Türk standartları enstitüsü, Ankara.
35. TS EN 1097-6 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
36. TS EN 196-3 Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
37. ASTM C109/C109M-16a. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. Book of Standards Volume: 04.01. American Society for Testing and Materials.
38. TS EN 196-1 Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım, Türk standartları Enstitüsü, Ankara.
39. TS EN 1015-3 Kâgir Harcı - deney metotları - Bölüm 3 : Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Ankara.
40. TS EN 1015-11 Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
41. TS EN 772-11 Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 11: Betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hız tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Hibe Qassab
 Uyuğu : IRAK
 Doğum tarihi ve yeri : 04.07.1989, kerkük
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 05386242903
 e-mail : hibe.kassap89@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Kerkük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği	2011
Lise	Yakza Özel Lise	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2015	Kerkük	İnşaat Mühendisi
2017	Medicana Hastanesi	Tercüman
2018	Yuse inşaat	İnşaat Mühendisi
2019	Gazi Hastanesi	Tercüman

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça

Yayınlar

1. Qassab, H. , Aruntaş, H. Y. (2019). *Harç karışımında tuğla atıklarının değerlendirilmesi*, ISMS International symposium on Academic studies in science, Engineering and Arcitecture studies, Ankara, 90-99.

Hobiler

Yüzme



GAZİ GELECEKTİR...