

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

**KISA SAPLI LİF KARAKTERLİ
ENDÜSTRİYEL ATIKLARDAN
SIVA MALZEMESİ ÜRETİMİ**

Merve YİĞİTER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ**

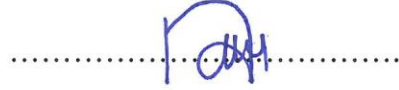
**HAZİRAN 2014
ÇORUM**

Merve YİĞİTER tarafından hazırlanan “Kısa Saplı Lif Karakterli Endüstriyel Atıklardan Sıva Malzemesi Üretimi” adlı tez çalışması 24./07/2014. tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans /~~Doktora~~-tezi olarak kabul edilmiştir.

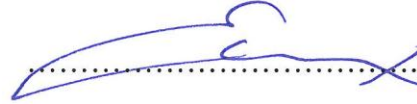
Yrd. Doç. Dr. Sadrettin ZEYBEK



Yrd. Doç. Dr. Nihan KAYA



Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 25/07/2014.. tarih ve 2014./01. sayılı kararı ile Merve YİĞİTER’ in Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans alması onanmıştır.

Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

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

Merve YİĞİTER



KISA SAPLI LİF KARAKTERLİ ENDÜSTRİYEL ATIKLARDAN SIVA MALZEMESİ ÜRETİMİ

Merve YİĞİTER

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2014

ÖZET

Günümüz teknolojisinin sağladığı avantajlarla, yapı malzemeleri, maliyeti düşürülüp daha ekonomik olması ve kullanılabilir nitelikte atıkların değerlendirilmesi amacıyla ar-ge çalışmalarında, farklı karışımlar denenerek yenilenmektedir.

Endüstriyel atık olarak adlandırdığımız üretim sürecinde yan ürün olarak kalan atıkların, yok edilmesi ve/veya depolanması oldukça güçtür, bunun yanı sıra büyük ölçüde çevre kirliliğine de sebep olmaktadır.

Çalışmanın yapıldığı Çorum ilinde 4 adet, üretiminde atık kağıt kullanan oluklu mukavva fabrikası vardır. Ayrıca Türkiye pirinç ihtiyacının %7'si Osmancık ilçesinden karşılanmaktadır.

Kontrollü yakılmış pirinç kabuğu külünün yüksek puzolanik aktiviteye sahip olması, atık kağıt liflerininse selülozik yapısı, bu atıkların sıva malzemesi üretiminde kullanılabilmesini sağlar.

Çalışmada, pirinç kabuğu külleri ve atık kağıt lifleri katkı malzemesi olarak kullanılmış, sıva harcı hazırlanmış 200x200x15 mm, 300x300x15 mm ve 40x40x160 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Numuneler oda koşullarında, sabit sıva harcından ağırlıkça çimento ile orantılı değiştirilerek, %10, %15, %20, %25, %30 pirinç kabuğu külü ve %2, %4, %6, %8 atık kağıt lifi içerecek şekilde hazırlanmıştır.

Hazırlanan harçlar, atık malzeme, çimento, agrega ve su ihtiva etmektedir. Numuneler, 7, 14 ve 28 günlük kurumaya bırakılmıştır.

Bekleme süresinin ardından numuneler farklı setler halinde, basınç dayanımları ölçülmek üzere 3 nokta basma testine, su tutma, renklendirme deneylerine, kullanılan hammaddeler ve hazırlanan karışımlar XRF ve XRD analizine tabi tutulmuştur.

Analiz sonuçları pirinç kabuğu külünün oldukça uygun bir bağlayıcı olduğunu, çimento kullanımının azalmasında, elde edilen numunelerin basma deneylerinde çok büyük azalmaların olmadığını bize göstermektedir. Kullanılan Pirinç kabuğu külü Osmancık Hacı Hamza pirincine ait olup analiz sonuçları %78,78 SiO₂, %4,47 K₂O, %0,71 Fe₂O₃, %0,78 CaO ve %0,41 Al₂O₃ içermektedir. Karışımların XRF analizleri oldukça iyi oranlar göstermektedir. XRD analizlerinde yabancı madde görülmemektedir. Pirinç külünün içerdiği potasyum oksit oranı sıva harcının kayganlaştırıcılığını arttırdığı uygulayıcılar tarafından doğrulanmaktadır. Atık kağıt lifi ve pirinç kabuğu külünün sıva hammaddesi olarak kullanılabilir olduğu, atık kağıt lifi ile hazırlanan harcın iç sıva yapımında uygun olduğu, pirinç kabuğu külü kullanılarak hazırlanan sıva harcı dış ve iç sıva olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler : Pirinç kabuğu külü, atık kağıt lifi, sıva.

**PRODUCTION OF PLASTER
WITH FIBER-CHARACTER INDUSTRIAL WASTES**

Merve YİĞİTER

HİTİT UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2013

ABSTRACT

In research and development studies, building materials are renewed trying out different mixtures for reducing cost and recycling wastes which are utilizable. Wastes which referred as industrial waste and remaining as a byproduct in production, isn't removed and stocked easily.

High pozzolanic activity of rice husk ashes which prescribed burning and cellulose structure of waste papers enables use of these wastes in production of plaster material.

In this study, rice husk ashes and waste papers fiber used as an additive, prepared plastering mortar and poured into forms whose 200x200x15 mm, 300x300x15 mm and 40x40x160 mm size.

Samples prepared in room conditions and to include %10, %15, %20, %25, %30 rice husk ash, %2, %4, %6, %8 waste paper fiber making proportional changing from hard plaster mortar by weight of cement. Prepared mortars include waste material, cement, aggregate and water. Samples allowed to drying for 7, 14 and 28 days. After a rest period, samples is taken up 3-point compression test for measured their compressive strength, water retention test, coloring test, XRD and XRF analysis.

The results of analysis show that rice husk ash a quite good binding and in three-point compression tests, there aren't very large reduction with reducing use of cement. Used rice husk ash belongs to the county of Osmancık-Hacıhamza and its elemental analysis results contain this rate: %78,78 SiO₂, %4,47 K₂O, %0,71 Fe₂O₃, %0,78 CaO, %0,41 Al₂O₃. The XRF analysis of mixtures demonstrate quite good measures. Increasing rice husk ash contained potassium oxide ratio verified by practitioners. Waste paper fiber and rice husk ash was found to be use as plaster raw materials and it was seen that waste paper fiber can be used interior plaster construction, rice husk ash can be used interior and exterior plaster construction.

Keywords : Rice husk ash, waste paper fiber, mortal.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ hocama, deneylerimde yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ' ye, Limak Çimento Üretim Müdürü Kürşat TURNA' ya, Asuman AYDIN' a, her daim yanımda olan ve sonsuz destek veren eşim Hüseyin YİĞİTER'e teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde bana destek olup emeğini esirgemeyen Güleda anneme, Nejla anneanneme teşekkür ederim.

Bu süreçte psikolojik olarak destek sağlayan, motive etmeye çalışan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca, doğrusunda yanlışında yanımda olan, maddi manevi destekleyen, annem Neşe ARABACI' ya, babam Fazlı ARABACI' ya ve kız kardeşim Tuba Nur ARABACI' ya sonsuz sevgimi ve saygımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Geri Kazanım Sistemleri.....	4
2.1.1. Tanımlar.....	4
2.2. Geri Kazanıma Genel Bakış.....	5
2.3. Neden Geri Kazanım.....	6
2.4. Pirinç ve Pirinç Kabuğu Hakkında Genele Bilgiler.....	8
2.4.1. Pirinç.....	8
2.4.2. Pirinç kabuğu (Kavuz).....	9
2.5. Pirinç Kabuğu Külü.....	10
2.6. Atık Kağıt.....	12
2.6.1. Selülozik liflerin özellikleri.....	14
2.7. Tarımsal Esaslı Liflerin Özellikleri.....	24
2.8. Bitkisel Kaynaklı Yapı Malzemesi Kullanımı.....	27

2.8.1. Yapı malzemesi üretiminde kullanılan bitkiler.....	27
2.9. Sıva.....	33
2.9.1. Tanımı.....	33
2.9.2. Sıvada kullanılan harçlar.....	33
2.9.3. Sıva çeşitleri.....	34
2.9.4. Sıva harcı yapımında kullanılan malzemeler.....	38
2.10. Agregası.....	50
2.10.1. Tanımı.....	50
2.10.2. Özellikleri.....	50
2.10.3. Çeşitleri ve özellikleri.....	51
2.10.4. İdeal agrega standartları.....	53
2.10.5. Agregaların beton dayanımına etkisi.....	58
2.11. Kaynak Araştırması.....	61
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	70
3.1. Materyal.....	70
3.2. Yöntem.....	72
3.2.1. Atık kağıt lifi içeren sıva harcı ve numunelerinin hazırlanması.....	73
3.2.2. Pirinç kabuğu külü içeren sıva harcı ve numunelerinin hazırlanması.....	75
3.2.3. Pirinç kabuğu külü içeren karışımların renklendirilmesi.....	81
3.2.4. Pirinç kabuğu külü içeren numunelerin su tutma deneyi.....	81
3.2.5. Numunelerin 3 nokta basma deneyi.....	82
3.2.6. Hammadde ve numunelerin XRF analizi.....	85

3.2.7. Numunelerin XRD analizi.....	90
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	96
4.1. Basma Deneyi.....	96
4.2. Pirinç Kabuğu Külü Katkılı Numunelerin Su tutma Deneyi.....	98
4.3. Numunelerin XRD Analizi.....	99
4.4. Numunelerin Renklendirilmesi.....	99
4.5. Numunelerin XRF analizi.....	100
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Yerli pirinç çeşitleri.....	9
Çizelge 2.2. Yabancı pirinç çeşitleri.....	9
Çizelge 2.3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	12
Çizelge 2.4. Tarımsal esaslı liflerin kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 2.5. Bazı tarımsal esaslı liflerin lif uzunluk ve genişlikleri.....	26
Çizelge 2.6. Lif kaynaklarının miktarı ve oranı.....	26
Çizelge 2.7. TS EN 197-1 Standardında çimentolar.....	46
Çizelge 2.8. Çimento tip ve standartları.....	47
Çizelge 2.9. Beton agrega standartları.....	57
Çizelge 2.9. (Devam) Beton agrega standartları.....	58
Çizelge 2.10. Tane şeklinin betona etkisi.....	59
Çizelge 2.11. Atıkların gerçek alanda kullanımları araştırma sonuçları.....	66
Çizelge 3.1. Numune kodları ve isimleri.....	71
Çizelge 3.2. Kullanılan malzemeler.....	72
Çizelge 3.3. Kullanılan araç-gereç ve cihazlar.....	72
Çizelge 3.4. TS EN 12808-3 standardına göre katkısız sıva bünyesi.....	73
Çizelge 3.5. Atık kağıt lifi içeren beton numuneleri karışım oranları.....	74
Çizelge 3.6. (200x200x15) Birim hacim karışım oranları	76
Çizelge 3.7. (300x300x15) Birim hacim karışım oranları	77
Çizelge 3.8. (40x40x15) Birim hacim karışım oranları	77
Çizelge 3.9. Su tutma deneyi tartımları	82
Çizelge 3.10. Hazırlanan numunelere ait basınç dayanımı	82
Çizelge 3.11. XRF numune kodları.....	85

Çizelge 3.12. XRD numune kodları.....	86
Çizelge 4.1. Atık kağıt- ortalama basınç dayanımı tablosu.....	96
Çizelge 4.2. %6'lık Atık kağıtların basınç dayanımları.....	97
Çizelge 4.3. Katkılı numunelerin su tutma yüzdeleri.....	98
Çizelge 4.4. Numunelerin XRF analiz değerleri.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Selüloz zinciri $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$	15
Şekil 2.2. Agrega tane biçimleri.....	60
Şekil 3.1. 3 nokta basma deneyi.....	84
Şekil 3.2. N1 %10 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı.....	86
Şekil 3.3. N2 %20 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı	87
Şekil 3.4. N3 %30 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı	88
Şekil 3.5. N4 agrega XRF analiz çıktısı.....	89
Şekil 3.6. N5 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı.....	89
Şekil 3.7. N6 çimento XRF analiz çıktısı.....	90
Şekil 3.8. Nu. 1 katkısız numune XRD analiz grafiği.....	91
Şekil 3.9. Nu. 2 %25 küllü numune XRD analiz grafiği.....	92
Şekil 3.10. Nu. 3 %10 küllü numune XRD analiz grafiği	92
Şekil 3.11. Nu. 4 %20 küllü numune XRD analiz grafiği.....	93
Şekil 3.12. Nu. 5 %30 küllü numune XRD analiz grafiği.....	93
Şekil 3.13. Nu. 6 %10 küllü numune XRD analiz grafiği.....	94
Şekil 3.14. Nu. 7 katkısız numune XRD analiz grafiği.....	94
Şekil 3.15. Nu 8 %15 küllü numune XRD analiz grafiği.....	95
Şekil 4.1. Atık kağıt lifi içeren numunelerin ortalama basınç dayanımları grafiği ...	96
Şekil 4.2. %6'lık Atık kağıt numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla Değişimi.....	97
Şekil 4.3. Numunelerin ortalama basınç dayanımı grafiği	98

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kenevir hammaddeli yalıtım şiltesi.....	28
Resim 2.2. Kenaf hammaddeli yalıtım malzemesi ve tavan paneli.....	28
Resim 2.3. Pamuk tekstil atıklı ısı yalıtım malzemesi.....	29
Resim 2.4. Bambu yapı iskeleti ve bahçe çiti.....	30
Resim 2.5. Mantar meşesi kabuğu lamine plaklar.....	31
Resim 2.6. Soya fasülyesi tohumu hammaddeli yalıtım malzemesi.....	31
Resim 2.7. Saman balyalı inşa yapısı.....	32
Resim 3.1. Elek.....	73
Resim 3.2. Sarsaklı elek takımı.....	73
Resim 3.3. Karıştırıcı.....	74
Resim 3.4. Katkısız (referans) ve %10 pirinç kabuğu külü, %2 atık kağıt lifi içeren Numuneler.....	75
Resim 3.5. %4 atık kağıt lifi içeren kalın dökümler.....	75
Resim 3.6. Pirinç kabuğu.....	78
Resim 3.7. Pirinç kabuğu külü.....	78
Resim 3.8. Agreganın elenmesi.....	79
Resim 3.9. Karışımın hazırlanması.....	79
Resim 3.10. %15 oranın pirinç kabuğu külü içeren ve katkısız numuneler.....	79
Resim 3.11. %20, %25 ve %30 oranında pirinç kabuğu külü içeren numuneler.....	80
Resim 3.12. %15 ve %20 oranında pirinç kabuğu külü içeren renkli ve normal numuneler.....	80
Resim 3.13. Pirinç kabuğu külü içeren karma numuneler.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
β	Beta (selüloz bağ yapısı)
Å	Amstrong, uzunluk birimi
SiO ₂	Silis
CaCO ₂	Kalsiyum karbonat
MgCO ₂	Magnezyum karbonat
Al ₂ O ₂	Alümin
Fe ₂ O ₂	Ferrik Oksit
CO ₂	Karbondioksit
CaSO ₄ .2H ₂ O	Alçıtaşı
NaCl	Sodyum klorür
CaO	Kalsiyum oksit
SO ₂	Kükürt dioksit
K ₂ O ₃	Potasyum Karbonat
Na ₂ O	Sodyum Oksit
P ₂ O ₅	Fosfor Pentoksit
MgO	Magnezyum Oksit
K ₂ O	Potasyum Oksit
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
Ni	Nikel
Cu	Bakır
SF	Silika İsi
RCPT	Hızlı Klorit Geçirgenlik Testi (Rapid Chloride Permeability Test)
RMT	Hızlı Migrasyon Testi (Rapid Migration Test)
C-S-H	Kalsiyum-Silikat-Hidrat
D	Çap

D	Yarıçap
XRD	X-Ray Diffractometer
XRF	X-Ray Fluorescence

Kısaltmalar**Açıklama**

EKA	Evsel Katı Atık
GEKA	Geri Kazanılabılır Evsel Katı Atık
DMAK	Dönüşümü Mümkün Atık Kağıtlar
WHO	World Health Organization
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun büyük bir hızla artması bununla birlikte enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, meydana gelen atıkların bertaraf problemi bilim adamlarını yeni arayışlara itmiştir. Atıkları hammadde kaynağı olarak değerlendirmek, kullanılmış hammaddeleri yeniden kullanmak önem kazanmış, birçok ülkeyi, enerji ihtiyaçlarını kontrol altına alma ve enerjiyi etkin kullanmaya ve geliştirmeye yönlendirmiştir.

Atıklar çevre sorununun yanı sıra depolanma zorluğundan dolayı ilave maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır (Çelik, 2004).

Malzeme üretiminde gerektiği kadar kullanılarak, istenen özelliklere uygun malzeme elde etmek amaçlanmaktadır. Üretim aşamasında ürüne gerektiği kadar malzeme kullanabilmek çoğunlukla mümkün olmamakta veya bu istek çok pahalı sistemlerle ancak sağlanabilmektedir. Bundan dolayı malzemelerin üretim aşamasında bir miktar fazladan kullanılmış veya hasarlı üretimin sonucu oluşmuş atık malzemeler ortaya çıkmaktadır (Batar, 2009).

Saydığımız tüm bu sorunlar göz önüne alınarak, depolanma problemi yaratan atık malzemelerin değerlendirilmesiyle, özellikle, gelecek yıllarda tehlike içerisinde olduğu öngörülen çevrenin, korunmasına ve ürünün üretim maliyetinin azaltılmasına katkı sağlanacaktır. Bu amaçla çalışmamızda mali açıdan ekonomik olması ve de çevresel atıkların değerlendirilmesi hedefiyle, atık kağıt, pirinç kabuğu külü ayrı ayrı çalışılarak, yalıtım ve kaplama malzemesi olan sıva üretilmiştir.

Değerlendirilme alanı oldukça geniş olan atık kağıdın, her geçen gün kullanımı artmaktadır. Ulaşılması çok kolay olan kağıt atıklarının yapı malzemesinde değerlendirilerek kazanılması düşünülmüştür. Bu çalışmada hedeflenen atık kağıdın kullanımında tasarruf sağlamanın haricinde, hem çevre kirliliğini önlemek hem de kağıdın yapısında bulunan selüloz sayesinde sıva malzemesine kıvam kazandırmaktır. Ülkemizde her yıl tahmini olarak 2 300 000 ton civarında kağıt tüketilmektedir.

Tüketilen miktarın yarısının geri dönüşümü ile 1 000 000 tonun üzerinde kağıt tasarruf edilerek hem çevreye hem de ekonomiye büyük bir katkı sağlamış olacaktır. Kullanılmış kağıdın tekrar kağıt imalatında kullanılması hava kirliliğini %74-94, su kirliliğini %35, su kullanımını %45 azaltabilmektedir (Batar, 2009).

Örneğin bir ton atık kağıdın hamuruna katılmasıyla 8 ağacın kesilmesi önlenebilmektedir. (Öztürk, 2005).

Kullanılmış kağıtların %15-20 lik kısmını pratik olarak kağıt üretiminde geri kazanarak kullanmak mümkün değildir. Çünkü kullanılmış kağıtların lifleri her seferinde ortalama %15-20 oranında zayıflar (Byström ve Lönnstedt, 1997).

Kullanılmış kağıtların tekrar işlenmesinin ardından selülozik liflerin boylarında belirli miktarlarda kısalma görülür, bu kısalma nedeniyle kısa lifler elekte kalmaz ve proresten atık olarak ayrılır. Ülkemizde atık kağıt işleyerek oluklu mukavva üretimi yapan fabrikaların ürettiği oldukları kağıdın kalitesine göre %5 ile %20 oranları arasında lif kaybı olmaktadır. Bu nedenle atık kağıdın geri dönüşümü ile oluklu mukavva yapan fabrikalarda bile günde yaklaşık 9 ton atık kağıt atığı kullanılmamakta ve çevreye atılmaktadır. Bu kaybı azaltmak ve önlemek amacıyla Avrupa ülkelerinde araştırmalar devam etmektedir. Ülkemizde ise bu konuyla ilgili çalışmalar az sayıdadır.

Pirinç kabuğu külü, pirincin yakılmasıyla elde edilmektedir. Pirinç kabuğu organik bir atık olmakla beraber çeltiğin öğütme prosesi süresince çeltik tanelerinin kapçıklarının alınması sonucu ortaya çıkan bir atık üründür pirinç üretimi yapan tüm ülkelerde bol miktarda ortaya çıkan pirinç kabuğu %40 selüloz, %30 lignin grubu ve %20 oranında amorf silis içermektedir (Ganesan, 2008). Pirinç kabuğunun yakılması sırasında yüksek oranda (%60-65) uçucu madde oluştuğu ve %20-25 oranında ortaya çıkan pirinç kabuğu külünde %90-95 oranında SiO₂ bulunduğu belirtilmiştir (Mansaray, 1997). Termal uygulamalarla pirinç kabuğunda bulunan silis, silisin kristal hali olan kristabolite dönüşmektedir.

Bununla birlikte kontrollü yakma şartları sağlandığı takdirde pirinç kabuklarından yüksek yüzey alanı, çok ince tanelere sahip ve yüksek reaktiflikte amorf silis elde edilmektedir (Chandrasekhar ve ark., 2003). Böylelikle zengin bir silika içeriğine sahip olan pirinç kabuğu külü yüksek reaktiflikli özelliği kazanmakta ve sıva üretiminde kullanılabilir (Zain ve ark., 2011). Pirinç kabuğu külünün reaktifliği, içeriğinin yüksek oranda amorf silis içermesi ve partiküllerinin gözenekli yapısı nedeniyle çok büyük yüzey alanına sahip olmalarıyla ilgilidir (Saraswathy ve Song, 2007).

Yukarıda değindiğimiz gibi bu çalışmanın amacı, sıva içerisine atık kağıtların ve pirinç kabuğu külünün kısa saplı lifleri karıştırılarak sıvanın fiziki ve mekanik özelliklerini iyileştirmek ve atıkları değerlendirerek ekonomik ve çevre dostu yeni bir malzeme elde etmektir.

Elde edilen bütün sonuçların değerlendirilmesi yapıldığında; katkılı çimentolu sıva harcının kullanılabilirliğine ve atıkların azaltılmasında yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Kullanılan atıkların harç içerisinde maliyeti düşüreceğinden ülke ekonomisi açısından yararlı olduğu söylenebilir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Geri Kazanım Sistemleri

2.1.1. Tanımlar

Tekrar Kullanım; atıkların toplama ve temizleme işlemleri haricinde herhangi bir işlem uygulamadan aynı şekli ile ekonomik ömrü dolana kadar kullanılmasına tekrar kullanım denir. Örneğin: konserve kutularının içerisindeki maddenin tüketilmesinin ardından temizlenmesi ve aynı amaç için kullanılması gibi (Suess ve ark., 1995).

Geri Dönüşüm; atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır. Örneğin: kırık cam şişelerinin eritilerek hammadde haline getirilmesi, kırık camın zımpara kağıdı üretiminde kullanılması, atık kağıtlardan tekrar kağıt elde edilmesi gibi (Suess ve ark., 1995).

Geri Kazanım; geri dönüşüm ve tekrar kullanımı kapsayan üst kavramdır. Geri dönüşüm ve tekrar kullanımın ötesinde, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir (Suess ve ark., 1995).

Enerji Kazanımı; atık maddelerin enerji içeriğinin kullanılması ile yenilenemez enerji kaynaklarının tüketim hızını azaltmak (Suess ve ark., 1995).

Kompostlaştırma; organik atıkların (özellikle yiyecek ve bitki atıkları) kontrollü ortamlarda çözüldürülerek oluşturulan zengin toprak yapma işlemine kompostlaştırma denir. Organik atıklar: nem, hava ve sıcaklık gibi etkenlere bağlı olarak çürümeye başlar. Bu çürüme sonucunda elde edilen gübre, içerdiği yararlı mineraller nedeni ile tarım yapılan toprakları zenginleştirmek veya bitki örtüsünü geliştirmek için kullanılır (Suess ve ark., 1995).

Evsel Katı Atık (EKA); konutlardan atılan, tehlikeli ve zararlı atık tanımına girmeyen, bahçe, park, piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıklar (Suess ve ark., 1995).

Geri Kazanılabılır Evsel Katı Atık (GEKA); geri kazanım, geri dönüşüm ve yeniden kullanım yaklaşımlarından biri veya birkaçı ile yeniden değerlendirilmesi mümkün olan ve organik özellikte olmayan, kağıt, plastik, cam, metal, vb. evsel katı atıklar olarak tanımlanmıştır.

GEKA tanımında organik karakterli atıkların hariç tutulmasının nedeni, biyolojik ayrışabilirliklerinin yüksek olması ve bu nedenle geri kazanım yöntemlerinin diğer malzeme gruplarından farklı olarak kompostlaşma gibi biyolojik süreçlere dayanmasıdır.

Bu bağlamda kağıt da organik atık olarak düşünülebilir. Ancak bu durumda teknolojik olarak atık kağıdın iyi kalitede dönüştürülmesi olanaksızdır. Bunun nedeni organik atıkların kağıtları biyokimyasal süreçlerle bozuşturmasıdır. Böylelikle kağıtlarda GEKA kapsamına alınmıştır (Suess ve ark., 1995).

2.2. Geri Kazanıma Genel Bakış

Ülkelerin 20. yüzyılın başlarına kadar üzerinde değişiklik yapılmayan düzensiz depolamaya ait bakış açıları, çevre sağlığı, hızla artan depolama alanı gereksinimi ve hammadde kaynaklarının tükenmeye başlaması nedeniyle giderek terk edilmiş ve özellikle gelişmiş ülkelerde düzenli depolama, geri kazanım, kompostlaştırma gibi çevreye daha az zarar veren, ekonomik olan sistemlere geçilmiştir.

70'li yıllarda enerji ve hammadde sıkıntısının yaşanması ile birlikte yeni enerji kaynaklarına ve hammadde tasarrufuna gerek duyulmuştur. Gelişmiş ülkeler bu bağlamda yeni arayışlara gitmek zorunda kalmışlar ve bu yeni arayışların etkileri kısa süre içerisinde katı atık yönetiminde de görülmüştür.

Evsel katı atıklardan yakma ile enerji, kompostlaştırma ile toprak gübresi üretilmeye ve geri kazanılabilir atıkların ayrı toplanarak üretime tekrar sokulmaya başlanmıştır. Her iki yöntem de katı atık depolama gereksinimi büyük ölçüde azalmaktadır. Geri kazanım yönteminde ise hem depolama alanına olan gereksinim azaltılmakta hem de hammaddeye olan gereksinim en aza indirilmektedir. Bu nedenle düzenli depolama alanlarının son derece verimli kullanılması gerekmektedir. Ortaya çıkan bu sonuçlar üzerine özellikle 80'li yıllardan itibaren geri kazanım yaklaşımı, hem hammadde ve doğal kaynaklardan tasarruf sağlanması hem de depolama gereksinimi büyük ölçüde azaltılması nedeniyle tüm dünyada etkisini hissettirmiştir (Kurtçebe, 2002).

Günümüzde geri kazanım bir atık yönetim yaklaşımı olmaktan öte etik bir özelliğe de bürünmüş ve toplumlarda çevre bilincinin en önemli simgelerinden biri haline gelmiştir. Özellikle gelişmiş ülkelerde GEKA geri kazanımı kamu tarafından tam anlamıyla sahiplenilmiştir.

Türkiye'de ise çevre bilinci daha çok 90'lı yıllarda ortaya çıkmaya başlamış ve Türkiye'nin Avrupa Birliği uyum sürecinde hız kazanmıştır (Anonim, 1996).

2.3. Neden Geri Kazanım

Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının gereksinimlerle birlikte değişmesiyle her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle her geçen gün artış gösteren malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir özellikte olan atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların hesaplı ve verimli olarak kullanılması gerekmektedir.

Ağaçlar, su, petrol, vb. doğal kaynaklarımızın üretim aşamasında kullanılması sonucu, cam, metal, plastik ve kağıt/karton ambalajlar gibi ürünler elde edilmektedir. Geri dönüşüm, malzeme üretimi aşamasında, endüstriyel işlem sayısını azaltma yoluna gidilerek enerji tasarrufu sağlar.

Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünden, bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden, ham maddeden ürün elde etmeye göre, %95 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan normal işlemler için gerekli olan %50'si kadardır. Ayrıca %45 oranında su tasarrufu sağlanır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir (Anonim, 2008).

Geri dönüşüm işlemi uzun vadede verim sağlayan bir ekonomik yatırımdır. Hammaddede olan azalma ve doğal kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilmektedir. Geri dönüşüm işleminin bu durumda ekonomi üzerinde olumlu etkileri olabilmektedir. Enerji ve Doğal Kaynakların tüketiminin azaltılması ülke ekonomisi için de göz ardı edilemeyecek büyüklükte önem arz etmektedir. Ayrıca dışarıdan tedarik etmek zorunda olduğumuz petrol gibi hammaddelerin tüketiminin azalması sonucu paramız yurtdışında kalmakta ve ekonomimiz daha iyiye gitmektedir. Geri dönüşüm işleminin ardından oluşan sentetik elyaf gibi ürünlerimizin de yurtdışına satışı yapılarak ülkemize döviz girişi sağlanmaktadır.

Geri dönüşümün uygulanması ile çöplere giden atık miktarında azalma sağlanarak, bu atıkların taşınması ve depolanması işlemleri için daha az miktarda alan ve enerji kullanılmış olur. Evsel atıkların yaklaşık yoğunluğu $0,6 \text{ kg/m}^3$ iken, ambalaj atıklarının yoğunluğu yaklaşık $0,3 \text{ kg/m}^3$ olduğu görülmektedir. Evsel atıklar için bu azalma ağırlık olarak fazla olmamakla birlikte, hacimsel olarak bakıldığında oldukça önemli bir oran teşkil etmektedir.

Yapılan toplama operasyonlarında evsel atıklar yaklaşık %75-80 oranında sıkıştırılabilirken, ambalaj atıklarında bu oranın yaklaşık %25 olduğu tespit edilmiştir.

Ambalaj atıkların geri kazanılması ile daha fazla evsel atık toplama araçlarında toplanabilmekte, bu durumda toplama ve taşıma maliyetlerini düşürmektedir. Depolama sahalarına daha az gideceğinden, çok yüksek maliyetlerle inşa edilen depolama alanları daha uzun sürelerle kullanabilmektedir (Anonim, 2008).

Dünyamızın sunduğu çeşitli doğal kaynakların bizler tarafından verimli bir şekilde kullanılması, bizlerden sonra gelecek nesillerin de kaynak sıkıntısı çekmemesi için önem arz etmektedir. Biz doğal kaynaklarımızı ne kadar tasarruflu kullanırsak; yeni nesiller de o kadar az kaynak sıkıntısı çekecek ve gelecek kuşaklar da doğal kaynaklardan yararlanma imkanı bulacaktır.

Ayrıca ülkemizde de geri dönüşüm sektörü her geçen gün yeni teknoloji ile gelişmektedir. Bu gelişim, yeni tesislerin kurulmasını ve yeni çalışma alanlarının açılmasını sağlayacaktır (Anonim, 2008).

2.4. Pirinç ve Pirinç Kabuğu Hakkında Genel Bilgiler

2.4.1. Pirinç

Pirinç tahıl ziraatının en önemlilerinden biridir. Pirincin ülkemizin zirai bünyesi ve ekonomisinde de önemli bir yeri vardır.

Pirinç ekimi ülkemizin pek çok kısmında gerçekleşmektedir. Bu yerler arasında; Fırat, Murat Kızılırmak ve Yeşilirmak vadileri, bunların yanı sıra Antalya, Çankırı ve bazı doğu illerimiz de sayılabilir. Ülkemizdeki pirinç çeşitlerini yerli ve yabancı olarak iki genel grupta toplayabiliriz.

Çizelge 2.1. Yerli pirinç çeşitleri

Cinsi	Yetiştği Yer
Kasım beyazı	Bursa, Boyabat
Tosya	Tosya
Ak çeltik	Maraş, Edirne, Çorum, Kocaeli
Sarı çeltik	Maraş

Bunlardan başka Terme beyazı, Kırmızı çeltik, Karacadağı çeltik, Kır çeltik, Karaköy pirinci, Çapma, Kulaksız gibi yerli çeşitleri de vardır.

Yabancı Çeşitleri: Son yıllarda yurda sokulan ve çok iyi sonuçlar alınan çeşitler arasında İtalya, Mısır ve Avustralya'dan gelen çeşitleri sayılabilir (Balkabak ve Ürgüp, 1997).

Çizelge 2.2. Yabancı pirinç çeşitleri

Cinsi	Yetiştği Yer
Marmaratelli	Trakya ve Kastamonu
Americana 1600	Kırklareli, Güney Anadolu
Nero Vialane	Güney Anadolu ve Trakya
Sesia, Bersan, Arboria, Carnaoli	Dağınık

2.4.2. Pirinç kabuğu (Kavuz)

Pirincin hasatından sonra pirincin sapları ve taneleri ayrılır. Bunun sonucunda %70 sap, %30 pirinç tanesi ve kabuk kalır. Taneler kabuklardan ayrıldıktan sonra %20 pirinç kabuğu elde edilir. Kabuklar oksijenli ortamda yandığında çok fazla duman çıkarırlar. Yüksek orada silis içerir. Kabuğun ana bileşenleri selüloz, lignin ve küldür.

2.5. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç, dünyada 1,6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturmaktadır. Ekilebilen alaların %11'inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar alanda pirinç ekimi yapılmaktadır.

Pirinç üretimi sonucu, atık malzeme olarak aşırı miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde çevrede büyük alanları kaplayarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır (Malzum, 1989).

Çeltik bitkisi, yeryüzünde buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıldır. Çeltik fabrikalarında işlenerek elde edilir ve işleme sırasında çeltiğin %9-10'u kepek, %20'si kavuz olarak ayrılır (Mehta, 1983). Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince bir zar şeklinde olup buna kepek denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yeni olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuk ise; bir pirinç tanesinin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre saha serttir ve bu kabuğa da kavuz veya kapçık denmektedir. Kavuz, silis ve karbon içerir. Yapısındaki silis kabukların iskeletini oluşturur ve amorf haldedir (Nemutlu, 1963). Pirinç kabuğu külü beton için mineral bir karışım olup, çimento ürünlerinin davranışı pirinç kabuğunun kaynağı ile değişir (Bidin ve ark., 1984). Pirinç kabuğunun çeşitli uygulama alanları vardır. Kırsal bölgelerde kış mevsiminde ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakıt olarak kullanılmaktadır (Kwame, 1975). Çelik üretimi sonunda kabuklar çelik külçelerin üzerine serilerek, çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal yapı oluşur.

Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuğundan yararlanılır. Pirinç kabukları havasız yerde aktif karbon elde edilebilir ve ayrıca aktif karbon absorpsiyon özelliğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayide renk, koku giderici olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak hafif beton imalinde agrega olarak kullanılmaya elverişlidir (Cook, 1985).

Pirinç kabuğu yakılarak kül elde edilmektedir. Külün kullanım şekline göre kabuğun yakma şekli de değişmektedir. Kabuk yakıt olarak kullanılıyorsa, yakma koşullarını sabit tutulmasına gerek kalmamaktadır. Ancak yapı malzemesi olarak (puzolan) kullanılmak istendiğinde kabukların yakılması ve külün soğutulması belli koşullarda gerçekleştirilmelidir (Kwame, 1975; Mehta, 1979; Dass, 1983; Bidin, 1984).

Pirinç kabuğu külünde, %80-90 oranında silis bulunmaktadır. Bu araştırma açısından da külün en önemli özelliği, amorf silisten ileri gelen puzolanik yapısıdır. Pirinç kabuğu külünün gözenekliliği, özgül yüzeyinin büyüklüğü ve amorf silise sahip olması, külün puzolanik özelliğe sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Pirinç kabuğu külü, elektron mikroskopunda incelendiğinde köşeli iskelet ağına sahip bir iç yapısı olduğu gözlenmiştir. Külün özgül ağırlığı $2.1-2.2 \text{ kg/dm}^3$ ve özgül yüzeyin $50-60 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dir.

Pirinç kabuğu külünün puzolanik özelliğinden faydalanarak, çimento veya kireç içerisine katılarak harç üretmek mümkündür. Ayrıca çimentoya katılarak puzolan gibi de kullanılabilir (Nemutlu, 1963).

Ancak pirinç kabuğu külünün çimentoya katılmadan önce, uygun bir biçimde öğütülmesi gerekmektedir (Alkhalaf ve Yousiff, 1984). Pirinç kabuğu külü çimentoya öğütülmüş olarak katıldığı gibi, klinker ve alçı taşı ile birlikte de öğütülebilir. Bu şekilde çimentoyla birlikte öğütüldüğünde, mekanik özellikler daha iyi olmaktadır (Nemutlu, 1963; Mehta, 1983).

Çizelge 2.3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri									
Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)					Özgül Ağırlığı (g/cm ³)				
0.685					1.97				
Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
91.15	3.84	1.87	0.81	0.59	-	0.71	0.17	0.21	0.65

2.6. Atık Kağıt

Dünyamızda ve ülkemizde ormanların sınırlı oluşu, yetişmesinin uzun zaman alması, tabii kaynakların korunma ihtiyacı, hammadde ve enerji maliyetlerinin artması, çevre korunmasının kazandığı önem, temini en kolay ve ucuz olan, büyük ölçüde de enerji tasarrufu imkanı sağlayan iade gazete-dergi, kullanılmış ambalaj kağıdı ve kartonlar, matbaa artığı kağıt ve kartonlar vb. eski kağıtların (yakılmadan, başka maddelerle karıştırılmadan) toplanarak daha yüksek oranlarda geri kazanılmasını ve kağıt-karton üretiminde esas hammadde olarak değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Anonim, 2013).

Atık kağıt ülkemiz için çok değerli bir hammadde kaynağı olup, toplama oranının da ihtiyaca paralel olarak yükseltilmesi gerekmektedir.

Atık kağıdın daha birinci elden cinslerine ayrılarak depolanması gerekir. Cinslerine ayrılmadan toplanan karışık atık kağıtlar daha çok katma değeri düşük olan gri karton, imitasyon kraft, fluting, saman fluting, testliner, kroma karton ve dosyalık karton gibi kağıt türlerinin üretiminde kullanılabilir. Oysa cinslerine ayrılarak depolanmış olan atık kağıdın, açma, mürekkep giderme, temizleme ve beyazlatma kademelerinden geçirilerek katma değeri daha yüksek olan kağıt türlerinin üretiminde kullanılması mümkün olabilmektedir. Bu nedenle atık kağıtların cinslerine göre toplanarak depolanması ve bunları işleyecek sistemlere sahip olunabilmesi son derece önemlidir (Sakarya, 2011). Atık kağıdın dönüşümünün sağlanması açısından her seviyede her platformda herkesin eğitilmesi gerekir.

Atık kağıt toplama oranları, halkın yoğunluğuna, kişi başına düşen kağıt tüketimine, ülke kağıt endüstrisinin talebine ve son olarak da hükümetlerin yasal önlemlerine bağlı olarak değişmektedir (Sakarya, 2011).

Avrupa ülkelerinin çoğunda yürürlüğe konulmuş bulunan çeşitli çevre yasaları, ev atıklarının farklı biçimde işlenmesine yol açmıştır. Amaç; toprağa gömülmeye ve yakılmaya giden atığın azaltılması, hatta ileriki yıllarda yasaklanması ve ev atıklarının yeniden ekonomiye kazandırılmasıdır.

Atık kağıtların geri dönüşümünün artırılması ve geri dönen kağıdın kalitesinin yükseltilmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla; atık kağıdın geri dönüşümün, ekonomiye katkısı, maddi olarak sağlayacağı kazanç ve nasıl toplanacağı konusunda halk, kampanyalarla ve yazılarla, görsel basın yolu ile daha etkin ve ciddi programlarla bilinçlendirilmelidir. Atık kağıt geri kazanılmasının artırılması için toplama, sınıflandırma ve tanımlama gibi verim artırıcı sistemler kurulmalı veya geliştirilmelidir.

Atık kağıdın, diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi yerel yönetimler, sivil toplum örgütleri, okullar, hayır ve spor kurumları ile özel kuruluşlar aracılığında çöpe gitmeden cinslerine göre tasnif işleri yapılarak toplanması sağlanmalıdır.

- Atık kağıdın yakılmasını ve çöpe atılmasını önleyici birtakım yasal tedbirler alınmalıdır.
- Kağıt-karton işletmelerinde, atık kağıt sınıflandırma ve işleme tesisleri kurulmalıdır.
- Atık kağıt fiyatları gerçekçi ve özendirici olmalı, toplamayı teşvik edici düzeyde tutulmalıdır.
- Yeni kurulacak olan kağıt-karton üretim tesislerinin atık kağıt kullanan tesisler olmasını sağlamak için ucuz krediler sağlanarak özendirilmelidir.
- Atık kağıt kullanımının artırılması toplanan atık kağıtların kalitesinin yükseltilmesi için gerekli yatırımlar desteklenmeli ve teşvik edilmelidir (Sakarya, 2011).

Atık kağıtlar, kağıt ve kartondan elde edilen ürünlerin amacına uygun olarak kullanıldıktan sonra işlevini tamamlayan ve ayrıca bu ürünlerin işlenmesi sırasında çıkan döküntülerdir. Döküntüler dışında atık kağıtların büyük kısmını eski gazeteler, mecmualar, ofis kağıtları, ambalaj kağıt ve kartonları oluşturmaktadır. Kağıt sanayi, atıklarını tekrar hammadde olarak kullanılabilen ender sanayilerden birisidir. Günümüzde “Geri dönüşümü yapılacak kağıtlar” içinde *Atık kağıt* terimi kullanılmaktadır. Geri dönüşüm döngüsüne girene kadar bütün kağıtları atık kağıtlar olarak tanımlayabiliriz. Bazı kağıt türlerinin gördükleri işlemlerden dolayı tekrar kağıt olarak geri dönüşümü olanaksızdır.

Bu nedenle atık kağıtları *Dönüşümü Mümkün Olmayan Atık Kağıtlar* ve *Dönüşümü Mümkün Atık Kağıtlar (DMAK)* diye ikiye ayırmak daha doğru olacaktır.

Kağıt yapımında hammadde olarak atık kağıt kullanımı diğer lif hammaddelerine oranla her yıl hızla artmaktadır ve artmaya devam edecektir.

Atık kağıt kullanımındaki artış şu nedenlere bağlanabilir:

1. Ekonomik açıdan uygunluğu
2. Atık kağıt bulunabilirliği ve kalitesi
3. Ürün pazarı
4. Çevreci kuruluşların baskısı ile hükümetlerin ilgisi (Yorulmaz, 2014)

2.6.1. Selülozik liflerin özellikleri

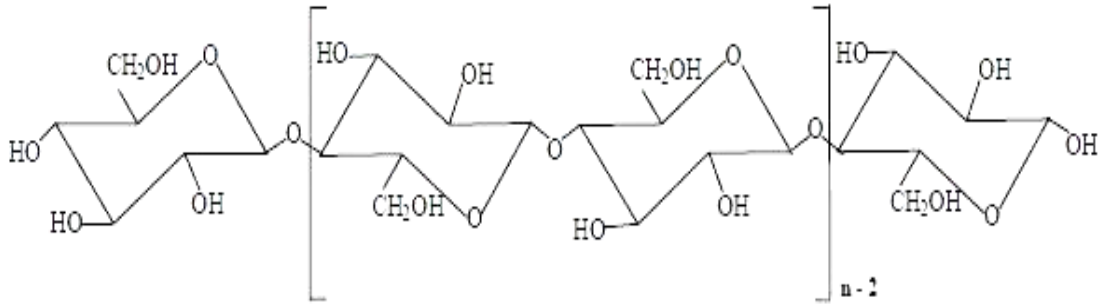
Kağıt, genellikle bitkisel lifler işlenerek ve birleştirilerek (lifler birbirleri ile yüzeyde bağlar ile bağlanmış) ince safihalar halinde getirilmiş tabaka halinde bir malzemedir. Selüloz, lif çeperinin ana birleşenlerindedir. Selüloz, birbirine β -(1→4) tarzında bağlı anhidroglukopiranoz birimlerinin oluşturduğu uzun lineer bir polimerdir.

Selüloz makromolekülünün yapısı

Selüloz makromolekülünün kimyevi yapısı ve özellikler temel yapı taşı ile ilgili veriler günümüzde kesin olarak bilinmektedir.

Bunları şöyle açıklayabiliriz:

- Selüloz makromolekülünün yapıtaşı anhidro D- glukozudur.
- Selüloz makromolekülünün temel yapıtaşı üç serbest hidroksil grup içermektedir. Bunun sonucu olarak örneğin selülozda gerçekleşecek herhangi bir esterleşme reaksiyonunda, maksimum esterleşme derecesi ancak üç olabilir. Bu üç hidroksil grubundan birisi primer (C_6), diğer ikisi de sekonderdir (C_2, C_3).
- Selüloz molekülündeki D-glukoz, piranoz halkası şeklindedir. Selülozun asit hidrolizinde oldukça dayanıklı olması bunun kanıtıdır. Çünkü furanoz yapısı aside son derece dayanıksızdır.
- Makromolekülün temel yapı taşları (anhidro D-glukopiranoz) β -glikozidik bağ ile bağlıdır. Selülozun kısmi hidroliz ürünü β -glikozidik bağ ile bağlı iki glikoz taşı içeren sellobioz (4-O (β -D-glukopiranozil)-D-glukoz) olması bunun kanıtıdır.



Şekil 2.1. Selüloz zinciri $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$

Konfigürasyon yapısına göre de OH^- grupları ekvatoriyel düzleme paralel veya dik olabilirler. Selüloz zincirleri yapı içerisinde hidrojen bağları ile bağlanmaktadır. Kağıtta hidrojen bağının ortalama kuvveti 25 kJ.mol^{-1} ve aradaki mesafe 275 nm dir. İdeal selüloz zincirinde prensip olarak sadece hidroksil grupları bulunmaktadır.

Odundan veya diğer bitkisel kaynaklardan elde edilen selüloz zinciri boyunca rastgele dağılmış çok veya az miktarda başka fonksiyonel gruplar (genellikle karboksil gruplar) da içermektedir.

İndüksiyon etkisi ile bu modifiye (değişime uğramış) üniteler, normal olanlara kıyasla daha hassas β -(1→4) bağlar oluşturmaya sebep olmaktadır. Bu “zayıf bağların” hidroliz hızı normal bağlara oranla iki kat daha fazladır.

Isısal (termal) deგრasyon sadece zincir parçalanması ile sınırlı değildir. Burada ayrıca dehidrasyon ve oksidasyon reaksiyonları da gerçekleşmektedir. Hava varlığında ısıtma hidroksil gruplarının oksidasyonuna sebep olmaktadır ki bu da karbonil ve ardından gelen karboksil gruplarının artması yönündedir. İki reaksiyon arasındaki oran sıcaklığa bağlıdır.

Lif şişebilirliği

Hücre çeperinin ana bileşikleri farklı oranlarda su almaktadır:

Selüloz.....%47
Lignin.....%16
Hemiselüloz.....%37

Bu durumda değişik selülozlarda lif çeperinde buldukları oranlarda lifin su almasını etkileyeceklerdir. Su almada 100°C varan sıcaklıklar için basınç önem taşımaktadır. 10-50°C arasındaki sıcaklıklarda sıcaklığın artması ile su alma her basınçta artar. 150°C'ye çıkar, yüksek sıcaklıklarda ise 0,8 atm basınç altında artar.

Sekonder (ikincil) lif ve geri kazanma

Kaynağına göre beş tip kağıt vardır:

- Karışık ofis atıkları, ambalaj, kutular,
- Kullanılmış gazete kağıdı,
- Kullanılmış oluklu mukavva kutuları
- Hamur nitelikleri olan ve hamur yerine kullanılanlar baskısız ve yüzey kaplamasız kağıt ve karton,
- Yüksek derecede mürekkebi giderilmiş kağıtlar

Bu tip kağıtlar kullanım öncesi ve sonrası atıklara ayrılabilir. Kullanım öncesi atıklar dönüşüm ve baskı işlemlerinde kesimlerden sonra çıkan artıklar iyi sınıflandırılmış oldukları için daha değerlidir. Şirketler ve belediyeler tarafından toplanan kullanım sonrası (kullanılmış) atıklar iyi sınıflanmadığı için daha az değerlidir.

Kağıt üretim prosesinde selülozun farklı üretim kademelerinden geçtiği sırada strüktüründe bir çok karmaşık değişim meydana gelmektedir. İlk olarak rafinasyon sırasında lifler daha esnek hale getirilmektedir. Daha sonra formasyon ve presleme sırasında keçe haline getirilmektedir.

Başarılı bir geri dönüşüm, tekrar hamur haline getirme sırasında (lifleri ıslatılmak suretiyle daha esnek hale getirilerek üretim prosesine tekrar girmesi) üretim aşamasında meydana gelen değişimlerin geri çevrilebilmesine bağlıdır.

Dönüşüm işlemlerinin serbestlik derecesi üzerine olumsuz etkisi bulunmaktadır. Müteakip dönüşümlerde kağıt yoğunluğunun fazla değişmediği tespit edilmiştir. Genel olarak dönüşüm işlemleri kağıdın fiziksel direnç özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Yırtılma direnci beklendiği gibi ilk dönüşümlerdeki artıştan sonra düşmeye başlamıştır.

Dönüşüm işlemleri kağıdın optik özelliklerine de olumsuz etki yapmaktadır. Bunun başlıca sebepleri selülozik malzemenin termik işlemler sonucunda hafif sararması ve katkı maddelerinin kısmen uzaklaşması olarak gösterilebilir. Kağıdın kimyasal özelliklerinde de dönüşümün sonucu olarak olumsuz etkiler görülmektedir. Dolgu maddesi içeriğine bağlı olarak müteakip dönüşümlerde kağıttaki kül oranı düşmektedir. Ekstraktif maddelerin de dönüşümler sırasında kısmen uzaklaştığı saptanmıştır. Küçük çaptaki kapiler boşlukların azalması da lif esnekliğinin azaldığını göstermektedir. Genel olarak hiç kurumamış selüloz liflerinden elde edilmiş kağıtlara göre, atık kağıtlardan yeniden imal edilmiş kağıtlarda, karakteristik olarak kalite düşmektedir. Özellikle direnç özelliklerinde 4. dönüşüme kadar yüksek oranda azalmalar olmaktadır. Bu durumun oluşmasındaki sebepler ise bireysel lif direncinin, uzunluğunun, çözelti içindeki şişme özelliğinin değişmesi sonucu selüloz liflerinin aralarındaki hidrojen bağ yapabilme kabiliyetlerinin azalması olarak verilebilir. Hücre çeperinin iskeletini selüloz mikrofibrilleri meydana getirmektedir. Birbirleri ile zayıf hidrojen bağları ile bağlı ve farklı yönlerde dizilmiş durumdaki mikrofibriller hücre çeperinin temel yapısını oluşturur. Farklı yönlerde ve hücre eksenine ile değişik açılarda dizilmiş durumdaki fibrillerin oluşturduğu geçiş bölgeleri kağıt hamuru üretimi sırasında potansiyel ayrılma noktalarını oluşturur. Bu katmanlara ek olarak, hücre çeperinde bazı açıklıklar bulunmaktadır.

Bunlar hücre çeperinin oluşumu sırasında mikrofibrillerin lateral dizilişinde meydana gelen düzensizlikler nedeniyle doğal olarak ya da kimyasal işlemler sırasında lignin, hemiselüloz gibi maddelerin uzaklaştırılması ile meydana gelmektedir. Kimyevi işlemlerle, lignin ve hemiselülozların daha da uzaklaştırılması hücre çeperi üzerinde bulunan bu açıklıkların büyümesine neden olmaktadır. Bu boşluklar, liflerin su ile işleme girmesi sırasında suyun depolandığı potansiyel noktaları oluşturmaktadır.

Mekanik işlemlerde örneğin liflerin dövülmesi sırasında, liflerde bulunan bu açıklıkların büyümesine dolayısıyla lif yüzey alanının artırarak daha fazla bağ yapmasına olanak sağlayacak yüzey alanı artışına neden olmaktadır.

Dövme işlemi, lifler arası bağları kopararak suyun hücre çeperine dolayısıyla lifler arasına girmesini sağlar ve bunun sonucu olarak da lifler esnek bir yapı kazanır.

Esnek liflerin oluşması, liflerin bağ yapma yüzeyini dolayısıyla bağ yapabilme kapasitesini etkilediğinden bu durumdaki liflerden üretilen kağıtların optik ve mekanik özelliklerini direkt etkilemektedir. Su alımı ve liflerin şişmesi kağıt yapımı açısından oldukça önemlidir. Zira selüloz higroskopik bir maddedir ve selüloz zincirleri üzerindeki hidroksil grupları su ile hidrojen bağları oluşturacak şekilde dizilmişlerdir. Ancak bu hidroksil gruplarının hepsi bağ yapmak için elverişli değildir. Selüloz üzerinde kristal ve amorf yapı olmak üzere iki farklı bölge bulunmaktadır. Kristal bölgelerin çapı yaklaşık 60 Å kadardır ve yaklaşık 60 birim hücre bulunduğu ve bu hücrelerin yarısının yüzeyde olduğu belirtilmektedir. Eğer birim hücre üzerinde bulunan hidroksil gruplarının yarısı bağ yapmak için gerekli olduğu düşünülürse, kristal yüzeydeki hidroksil gruplarının sadece %25'nin bu durumda elverişli olduğu anlaşılır. Buna karşılık amorf bölgedeki hemen tüm hidroksil grupları bağ yapabilme özelliğindedir.

Kağıt makinesinde selüloz liflerinin serilmesinden sonra, yaş pres ve kurutma işlemi sonrasında selüloz zincirleri bir araya gelerek büyük paketler oluşturmaktadır. Su, amorf yapıdaki selüloz zincirlerinin arasına girmek suretiyle su ile zincirler arasında yeni hidrojen bağları oluşturarak liflerin şişmesini sağlamaktadır. Kağıt yapımı sırasında ıslak selüloz liflerinin bir araya gelmesiyle aralarında bağ oluşumu, su moleküllerinin birbirleri arasındaki ve selüloz zincirleri üzerinde bulunan hidroksil gruplarıyla olan polar etkileşim (çekim) ile meydana gelmektedir. Bu kuvvetlere ek olarak dışarıdan uygulanan mekanik kuvvetler de liflerin bir araya gelmesini sağlamaktadır.

Geri dönüşüm sırasında kağıt tekrar su ile muamele edilir. Su polar bir madde olduğundan hidrojen bağlarını koparıp tekrar oluşturabilen bir yapıya sahiptir. Presleme ve kurutma işlemi sırasında lifler bir araya gelmekte ve birbirleri arasında güçlü hidrojen bağları oluşturmaktadır. Oluşan bağlar ve kapanan lümenler nedeniyle suyun hücre lümenlerine ve diğer açıklıklara girmesini önlenmektedir.

Liflerin birbirine bağlanarak daha büyük bir ünite oluşturulmasıyla suyun ulaşabileceği yüzey alanı daralmaktadır. Bu durum kağıt hamurunun tekrar su ile muamele edilmesi sırasında açılmayan bağlar oluşturmaktadır.

Lifler üzerinde meydana gelen bu olay kısaca “hornifikasyon” olarak belirtilmektedir. Hornifikasyon selüloz liflerinde fiziksel ve kimyasal bir değişim olarak tanımlanır.

Kurutma işlemi sırasında kağıdı genellikle çekmesi ve lifler arası bağ oluşturmaları veya hücre lümeni çeperleri arasında bulunan açıklıkların kapanması ve daha sonra tekrar su ile muamele edildiğinde oluşan bu bağların açılmamasına hornifikasyon denir. Selüloz liflerin kurumaları ve tekrar su ile muamelesi sonucu mikrofibrillerin yeniden oryantasyonu ve karbonhidratlar zincirlerinin birbirlerine karşılık gelecek şekilde düzenlenmesi sonucu daha yoğun hidrojen bağları oluşmakta ve selülozun kristal yapısı artmaktadır.

Yüzey gerilmeleri ile oluşan kuvvetlerde karşı yüzeylerin birbirini çekmesi sonucu boşlukların kapanmasına neden olmaktadır. Kurutma ıslatma işleminin tekrar edilmesi ile hücre çeperi üzerinde bulunan açıklıkların kapanmasıyla daha yoğun bir çeper yapısı ortaya çıkmakta aynı zamanda liflerin bağlanması ile çeper üzerinde radyal yönde çatlaklar oluşmaktadır. Yaş pres sırasında liflerde hornifikasyon olayı gözlemlenmektedir. Çünkü yaş preste ıslak safihadan, dolayısıyla su alarak şişmiş halde hücrelerden su sürekli olarak uzaklaştırılmaktadır. Islanarak şişmiş lifler ve su almış lümen yaş pres basıncıyla suyun uzaklaştırılması sırasında çöker. Yüzey gerilmeleri sonu karşılıklı yüzeyler bir araya gelir ve açıklıklar kapanır. Kapanan boşluklar liflerin su tutma değerini etkilemektedir. Liflerin su tutabilme değeri hamur içinde bulunan tüm su ya da hücre çeperi ve lümeninde tutulan tüm su olarak anlaşılmaktadır. Dövme işleminden sonra oluşan mikrofibriller üzerinde tutulan su da buna dahildir.

Artan pres basıncı ve presleme süresi ile lifler yassılaşımakta, lümenler kapanmakta, hücre çeperleri üzerinde bulunan açıklıkların karşılıklı yüzeyleri bir araya gelerek daha sıkı bir yapı oluşturmaktadır. Su, liflerde şişmeyi amorf bölgelere girerek sağlamaktadır. Bunun tersi durumunda yani suyun uzaklaştırılması ile lifler birbirlerine yaklaşmaktadır. Suyun uzaklaştırılması kurutma işlemi ile devam etmektedir. Kurutma liflerdeki şişmeyi azaltmakta, daha rijid bir yapı kazandırarak elastikiyeti düşürmektedir. Liflerin sertleşmesine mikrofibriller ve lifler üzerinde oluşan bu hidrojen bağlarından bazıları açılmayarak liflerin birbirleri ile olan temas yüzey alanını düşürmekte ve elde edilen kağıdın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yaş presleme işlemi ile hücre lümenleri ve çeperleri basınç altından kalmakta birbirleri arasında kohezyon kuvvetleri oluşmakta yapışmalarını sağlamaktadır.

Tekrar su ile temasa geçtiğinde ise bazıları hücre çeperindeki kalıcı deformasyondan dolayı açılmamaktadır. Kağıtların geri kazanılması sonucu selüloz liflerinde meydana gelen değişimler üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Bu yoğun araştırmalar sonucu oluşan ortak kanıya göre, liflerin bağlanma potansiyeli geri dönüşümsüz olarak değişmekte ve bunun sonucu olarak geri kazanılmış selüloz liflerinden üretilen kağıtların kopma uzunluğu, patlama ve katlama direnci, yoğunluğu ve uzamasının azaldığı buna karşılık yırtılma direncinin, opaklığının, bükülgenliğinin ve yansıtma yeteneğinin iyileştiği gözlenmiştir.

Rafinörle esneklik derecesinin düzeltilmesi mümkün olmakla birlikte kırıntı oluşmakta ve lif boyları kısalmaktadır. Bu durumda müşterinin istediği dirence ulaşabilmek için kullanılmamış lif ilave edilmesi gerekmektedir. Çeşitli lif üretim yöntemleri içinde alkali selülozundan üretilen kağıtlar geri kazanmak için daha uygundur.

Atık kağıdı geri kazanmanın faydaları

Orman kaynaklarının daha az tüketilmesi: 1 ton kağıt üretimi için yaklaşık olarak 4-5 m³ ağaca ihtiyaç vardır. Bir başka deyişle 1 ton kullanılmış kağıdı geri kazanmak, lif yapısı zayıflamış olan kullanılmış kağıda takribi denk gelen 6-8 adet büyük ağacın kesilmesini önleyecektir.

Enerji tasarrufu

Atık kağıt kullanılması durumunda, üretim için gerekli enerji ihtiyacı çok daha az olacaktır.

Kimyevi madde tasarrufu

Kağıdın bünyesinde bulunan bazı kimyevi maddeler de geri kazanıldığından kimyevi madde tasarrufu sağlanmaktadır.

Maddi tasarruf

Atık kağıdın ülke içinde toplanıp kullanılması, yurt dışından selüloz ve atık kağıt ithalini azaltacaktır.

Çevre temizliği

Üretimin atık kağıt kullanılarak yapılması halinde üretimde kullanılan kimyasal maddeler daha az tüketilecek dolayısıyla çevre kirliliği azaltılacaktır. Kağıt üretiminde ana hammadde bitkilerdir. Bitkiler (ağaç vb.) ile fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere atılan sera gazı karbondioksiti, güneş ışığı ve topraktaki su ve besi maddesini absorbe ederek odun ve serbest oksijen oluşur. Ormanlar oksijen üretim fabrikalarıdır. Bir ağaç 1000 gr büyürken 765 litre CO₂ absorbe eder ve 770 litre O₂ üretirler.

Eski teknolojilerde kağıt üretmek için 400 m³ su tüketmek gerekirken modern tesislerde 20 ila 50 ton su kullanmak yeterli olmaktadır.

Kullanılmış kağıttan kağıt üretim tesislerinde bir ton kağıt üretimi için sadece 5 ton su kullanmak yeterli olmaktadır. Kullanılmış kağıtların geri kazanılması ormanların korunmasına katkıda bulunur.

Bir ton kağıt üretimi esnasında;

- 2,4 ton odun,
- 440 ton su,
- 7600 kWh elektrik enerjisi gerekir.

Eğer kağıttan bir ton kağıt üretilirse;

- 1,2 ton kullanılmış kağıt,
- 1,2 ton su,
- 2800 kWh elektrik enerjisi gerekir.

Kullanılmış kağıtlar çöpe atıldığı zaman 3 ay ila 5 yıl içinde bozunur. 1 ton kullanılmış kağıt çöpe atılmayıp geri kazanıldığı ve kağıt üretiminde tekrar kullanıldığı zaman;

- 17 adet yetişmiş çam ağacının kesilmesi,
- 36 ton sera gazı CO₂ atmosfere atılması,
- 4100 kWh elektrik enerjisinin israf edilmesi,
- 267 kg kirletici gazın atmosfere atılması,
- 1750 litre fuel-oilin israf edilmesi,
- 3-4 m³ depolama alanı tasarruf edilmesi,
- 85 m² ormanlık alanın tahrip edilmesi,
- 38,8 ton suyun israf edilmesi önlenir.

Kullanılmış kağıtların %15-20 lik kısmını pratik olarak kağıt üretiminde geri kazanarak kullanmak mümkün değildir. Çünkü kullanılmış kağıtların lifleri her seferinde ortalama %15-20 oranında zayıflar (Yorulmaz, 2014). Bu sebeple geri dönüşüm ile oluklu mukavva yapan fabrikalarda bile günde yaklaşık 9 ton kağıt atığı selüloz zincirlerinin kısa olması sebebiyle geri dönüşümde kullanılmamakta ve çevreye atılmaktadır. Atık kağıtlar menşei itibariyle tanin, uçucu kül, pirina, fındık kabuğu, pirinç kabuğu, kiwi, keten, buğday sapları, badem kabuğu gibi yapı malzemelerinde kullanılabilir. Literatürde farklı yöntemlerle de atık kağıtlardan kompozit malzeme yapımına rastlamak mümkündür.

2.7. Tarımsal Esaslı Liflerin Özellikleri

Ticari açıdan değerli lifler uzun, hücre çeperi kalın, lümen boşluğu az ve selülozca zengin özellikte olmalıdır. Tarımsal esaslı liflerin selüloz ve bazı kimyasal bileşimleri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Tarımsal esaslı liflerin kimyasal özellikleri (Han, 1998)

Lif tipi	Selüloz (%)	Lignin (%)	Penzotan (%)	Kül (%)	Silis(%)
Pirinç	28-48	12-16	23-28	15-20	9-14
Buğday	29-51	16-21	26-32	4,5-9	3-7
Arpa	31-45	14-15	24-29	5-7	3-6
Yulaf	31-48	14-19	27-38	6-8	4-6,5
Çavdar	33-50	14-19	27-30	2-5	0,5-4
Şeker kamışı	32-48	19-24	27-32	1,5-5	0,7-3,5
Bambu	26-43	21-31	15-26	1,7-5	0,7
Kenaf	44-57	15-19	22-23	2-5	-
Jüt	45-63	21-26	18-21	0,5-2	-
Kenevir	57-77	9-13	14-17	0,8	-
İğne yapraklı ağaç	40-45	26-34	7-14	<1	-
Yapraklı ağaç	38-49	23-30	19-26	<1	-

Çizelge 2.5. Bazı tarımsal esaslı liflerin lif uzunluk ve genişlikleri (Han 1998).

Lif tipi	Lif uzunluğu (mm)	Lif genişliği (mm)
Pirinç	0,4-3,4	4-16
Buğday	0,4-3,2	8-34
Mısır	0,5-2,9	14-24
Şeker kamışı	0,8.-2,8	10-34
Bambu	1,5-4,4	7-27
Kenaf	2-6	14-33
Jüt	2-5	10-25
Kenevir	5-55	10-51
Keten	9-70	5-38
Pamuk	10-40	12-38

Çizelge 2.6. Lif kaynaklarının miktarı ve oranı (Ndazi ve ark., 2006)

Lif kaynağı	Miktar (x10³ ton)	Oran (%)
Odun	1 750 000	68,5
Pirinç sapı	700 000	27,4
Pirinç kabuğu	70 000	2,8
Pamuk	18 645	0,75
Bambu	10 000	0,39
Jüt	3 630	0,14
Kenaf	970	0,04
Keten	830	0,03
Sisal	380	0,01
Kenevir	220	0,009
Rami	110	0,004
Hindistan cevizi	100	0,0039

2.8. Bitkisel Kaynaklı Yapı Malzemesi Kullanımı

Petrol türevli yapı malzemelerinin yerine, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerin tercih edilmesi sürdürülebilirlik için zorunludur. Bu anlamda bitkisel kökenli malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımı, kaynak sıkıntısı çeken ve çevresel sorunlara sebep olan yapı endüstrisi için çok önemlidir. Bitkisel kaynaklı yapı malzemeleri, konvansiyel yapı malzemelerine göre daha kolay yaşayabilen ve muhtemelen çevresel açıdan daha sağlıklı malzemelerdir.

Dünya sağlık örgütüne (WHO) göre yapı ürünlerinin sadece %5'i zararsızdır (Zaccanti, 2006). Olumsuz etkileri azaltmak amacıyla dünyanın farklı ülkelerinde bitkisel kaynaklı malzeme üretimine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bitkisel kökenli yapı malzemeleri, soya, jüt, kenaf, buğday, keten, mısır, ayçiçekleri, kenevir, bambu, ahşap gibi bitkisel atık liflerden ve atık kağıttan üretilir. Tamamen doğal, hızla yenilenebilir, düşük enerji içeriğine sahiptirler (Olgay ve Herdt, 2004).

2.8.1. Yapı malzemesi üretiminde kullanılan bitkiler

Çeşitli bitkiler doğadan elde edilen doğrudan kullanıldıkları gibi, bir yapı malzemesi veya yapı elemanı üretiminde hammadde olarak da kullanılmaktadır. Günümüzde bununla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin şeker kamışı, bambu, jüt, kenaf, pamuk, pirinç sapı, pirinç kabuğu, muz, buğday, tütün, ananas, ayçiçeği sapı, kenevir, yulaf sapı, pamuk sapı, saman, çavdar, arpa, keten vb. ellinin üzerinde bitkisel esaslı lignoselülozik malzemedan kompozit malzeme üretilebilmesi üzerine yüzlerce araştırma yapılmıştır (Youngquist ve ark., 1994).

Kenevir

Kenevir yapı endüstrisinde yalıtım şiltesi üretiminde ve lifli levha üretiminde kullanılan, çok dayanıklı doğal liflerden biridir. Hızlı büyüyen 4 ay içerisinde 3 metre yüksekliğe ulaşabilen, bir yılda 3 kez ürün alınabilen, yenilenebilir bir

malzemedir. İşleme süreci zehirleyici gaz içermez ve düşük çevresel etkiye sahiptir (Daly, 2006).



Resim 2.1. Kenevir hammaddeli yalıtım şiltesi

Kenaf

Ilık iklimlerde yetişen pamuk ve bamyaya benzeyen yıllık bir bitkidir. 6 aylık bir sürede 3,5 ila 5 m yüksekliğe ulaşabilir. Yapı sektöründe kenevire benzer şekilde yalıtım malzemesi olarak kullanıldığı gibi duvar ve tavan paneli olarak da kullanılır.

Çimento ile güçlendirilmiş kenaf lifleri duvar bileşeni ve sabit mobilya ürünü olarak kullanılmaktadır (Roslan ve ark., 2005).



Resim 2.2. Kenaf hammaddeli yalıtım malzemesi ve tavan paneli

Pamuk

Pamuk yapı sektöründe doğrudan hammadde olarak kullanılmamaktadır. Endüstriyel üretimin sonrasında elde edilen geri dönüştürülmüş kot kumaşlarından ve geri dönüştürülmüş diğer pamuk tekstil ürünlerinden ısı yalıtım malzemesi üretilir. İçeriğinde %85 oranında pamuk, %10 oranında yangın geciktirici, %5 oranında polyolefin (polipropilin türleri ve polietilenler) bulunur.

Fiberglas ve mineral yünden farklı olarak, solunum problemlerine sebep olabilen hiçbir mineral lif içermemektedir. Faydalı kullanım sürecinin sonunda tamamen geri dönüştürülebilir (Anonim, 2005).



Resim 2.3. Pamuk tekstil atıklı ısı yalıtım malzemesi

Bambu

Ahşap malzemeye alternatif olarak kullanılan, hızlı bir büyüme oranına sahip bir bitkidir. Bunun yanında meşe ağacı gibi sert ağaçlarla karşılaştırılabilecek kadar sert bir yapıya sahiptir. Yapıda bölme duvar paneli, döşeme kaplaması ve kaba yapı iskeletinde, bahçe çiti uygulamalarında kullanılır.

İskelet sistemde veya bölme duvarda yalın olarak kullanılabilirken, döşeme kaplaması olarak kullanıldığında ahşap malzemeyle birlikte üretilir. Ahşap plakaların içi, bambu kabuklarının uçucu organik bileşen salgılamayan yapıştırıcıyla dikine yan yana birleştirilmesi sonucu oluşturulur (Anonim, 2004).



Resim 2.4. Bambu yapı iskeleti ve bahçe çiti

Mantar

Yapı malzemesi olarak zemin ve duvar kaplamalarında ve yalıtım uygulamalarında kullanılan mantar, “mantar meşesi” adıyla bilinen ağacın deri dokusu vazifesini gören kabuk kısmına verilen isimdir. Zemin kaplaması olarak kullanımında, doğal olarak elde edilen bu kabuk tabakası çeşitli yüzey koruyucu ve yalıtım tabakalarıyla birlikte işlenerek lamine plaklar haline getirilir. Mantar dokusunun %89,7’lik kısmı çok az yoğunlukta, soluduğumuz hava kimyasına yakın bir gaz ile doludur. Bu özelliğiyle mantar ısı, ses, vibrasyon ve nem yalıtımlarında yüksek avantajları sağlayabilen doğal ve çevreye uyumlu bir malzemedir (Anonim, 2011)



Resim 2.5. Mantar meşesi kabuğu lamine plaklar

Soya fasülyesi

Genellikle çok nemli iklim bölgelerinde yetiştirilebilen yıllık bir bitkidir. Yapı endüstrisinde tohumlarından yararlanılmaktadır.

Çok çeşitli kullanım alanları arasında, sprey yalıtım köpüğü, yalıtım paneli, boya, yapışkan, dolgu macunu, sentetik kauçuk ve likit örtü olarak kullanımları sayılabilir (Anonim, 2004).



Resim 2.6. Soya fasülyesi tohumu hammaddeli yalıtım malzemesi

Saman

Yıllık olarak yenilenebilen, belli zamanlarda bol ve kolay bulanabilen bir malzemedir. Buğday, yulaf, pirinç, arpa gibi ekinlerin tanelerin ayrıldıktan sonra kalan sapları ya hayvanlara yedirilir ya da atık olarak kabul edilir. Saman yapı malzemesi olarak binlerce yıldır kerpiç üretiminde kullanılmıştır. 19. yüzyılın sonlarından itibaren saman balyaları ile inşa teknolojisi geliştirilmiştir. Saman balyaları ile enerji performansı yüksek, korunaklı barınaklar inşa edilebilir. Ülkemizde de saman balyası ile örnek bir yapı inşa edilmiştir (Eryıldız ve Başkaya, 2000).



Resim 2.7. Saman balyalı inşa yapısı

Yukarıda sayılan bitkilerden başka pirinç kabuğu, muz yaprakları ve sapları, hindistan cevizi kabuğu, pamuk saplarının yapı malzemesi üretiminde kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Rai ve Jha, 2013).

2.9. Sıva

2.9.1. Tanımı

Bir yapıdaki dış yüzeyleri dış etkilere (soğuk, sıcak, kar, yağmur, yangın) karşı korumak, dayanımını arttırmak, pürüzsüz düzgün bir yüzey elde etmek ve boya yapımına hazır hale getirmek için yapılan kaplama işlemine “sıva” denir.

2.9.2 Sıvada Kullanılan Harçlar

Tanımı

Yapılarda tuğla veya taşların örgüsünü sağlamlaştırmak, duvarları sıvamak için kullanılan, herhangi bir çeşitte kumun içerisine, bağlayıcılar, su ve gerektiğinde katkı maddeleri eklenerek elde edilen karışıma “harç” denir.

Çeşitleri

Sıva yapımında kullanılan harçlar aşağıda verilmiştir:

Kireç Harcı

Fazla dayanıklı olması beklenmeyen ve geçici olarak yapılan binaların iç sıvalarında kullanılır. Sıva yapımına başlamadan önce, kireç harcı yapılır ve 3-5 gün dinlendirilir.

Takviyeli harç

Sıva yapımında çimento harcının kısa zamanda prize başlamasını önlemek, işlenebilirliğini artırmak amacıyla az miktarda sönmüş kireç ilave edilerek elde edilen harçtır.

Çimento harcı

Dayanıklı olması istenilen iç ve dış sıvaların yapımında kullanılır. Bu harca, su ve rutubete karşı yalıtım malzemesi de konulabilir.

Alçı sıva harcı

Bu sıva, su ve rutubete karşı dayanıklı olmadığından iç sıvalarda kullanılır. Bu harçta genellikle kum kullanılmaz.

Kıtıklı harç

Bağdadi, kamış ve ahşap yüzeylere sıva yapımında kullanılır. Harcın yüzeye daha iyi yapılımasını sağlamak için, kıtık adı verilen keten lifler kullanılır. Kıtık, harcın içine doğranır, iyice karıştırılarak ahşap yüzeye uygulanır.

Özel harçlar

Bina içinde ve dışında, izolasyon, dekoratif veya özel amaçla kullanılan hazır sıva harçlarıdır. Genellikle fabrikada üretilip ambalajlanarak piyasaya sunulur. Her ürünün kullanımını farklı olduğundan, kullanma talimatı ambalaj üzerinde yazılıdır.

2.9.3. Sıva Çeşitleri

Düz sıvalar

Kaba sıva

Sıva kalınlığına göre 3-8 cm' lik elekten geçmiş ve temizce yıkanmış kaba kumla, en az 3 hafta evvel söndürülmüş kireç 1/3 oranında karıştırılıp az çimento ilavesiyle kaba harç elde edilir.

İnce sıva

Kaba sıva tamamen kurduktan sonra üzerine ince sıva yapılır. İnce sıva harcı, ince kumla temiz kirecin (kuyuda 3 hafta dinlendirilmiş) 1/3 oranında karıştırılmasıyla elde edilir. İnce harç büyük tahta sıva küreğine konarak duvara 60° açı ile yapıştırılarak yukarı doğru çekilir. Bu hareket neticesinde sıva ince bir kat halinde kaba sıva üzerine yapışır. Bu işlem kısım kısım yapıldıktan sonra yüzey önce masterla sonra tahta mala ile (perdahlanarak) düzeltilir.

Modern Hazır Sıvalar

Fabrikalarda üretilerek piyasada özel ambalajlar içinde satılan kopolimer akrilik emülsiyon esaslı, yapısındaki malzemeden dolayı desen verebilme özelliğine sahip suya dayanıklı, dekoratif görünümlü bir malzemedir. Yapılarda iç ve dış sıva uygulamalarında kullanılır. Harcın yüzeye uygulanması püskürtme veya mala uygulama yöntemi ile olur. Kullandıkları yer esas alınarak bileşiminde farklılıklar olmaktadır.

Hazır sıvaların yapısal olarak farklılıkları dikkate alınarak, çeşitleri şunlardır;

- a. Mineral esaslı düz veya desenli görünen hazır sıvalar
- b. Granit tipi hazır sıvalar
- c. Hazır ipek sıvalar
- d. Hazır kenitex püskürtme sıvalar
- e. Sentetik reçine bağlayıcılı sıvalar

Sıva uygulanmadan önce yüzeyin hazırlanması gerekir. Yüzeyde çatlaklar, pürüzler veya derzler varsa ince çimento harcı ile veya hazır macunlarla doldurulmalıdır. Tamir işlemleri bittikten ve tamamen kurduktan sonra hazır sıva uygulanmalıdır. Yüzeyde kireç badana ve dökülecek kısımlar var ise tel fırça yardımıyla temizlenmeli sonra üzerine özel astar boyası (sürülerek/püskürtülerek) uygulanıp tozları alınmalıdır.

Alçı Sıva

Perdah tabakası alçı harcı ile yapılır, harç mala ile sürülür.

Kaba sıva harcından 2,5 cm kalınlığında bir alt tabaka yapıldıktan sonra 700 kg alçı 500 lt su ile karıştırılarak elde edilen harç, 0,5 cm kalınlıkla düzgün halde sürülür ve plastik şablonlarla tesviye edilir.

Serpme (çarpma) sıva

Binaların dış cephelerinde özellikle su basman kısımlarında yapılan bu sıvaların uygulanmasında aşağıdaki esaslara dikkat edilir.

1. Sıvanacak yüzeye çimento harcı ile kaba sıva yapılır. Yüzeyde master izlerinin kalmaması için tahta mala ile perdahlama yapılır.
2. Harç için 8 ve 4 mm'lik kare delikli elekler arasında kalan temiz 1 m³ dişli kum, 600 kg çimento ve yeteri kadar su ile karıştırılır.
3. Kaba sıva yüzeyi temizlenir ve ıslatılır, mala ile duvara 1 cm kalınlıkta çarpılır.
4. Sıva yüzeyine master çekilmez.
5. Sıva yüzeyine zaman zaman ıslatılmak suretiyle mukavemeti sağlanır.

Mermer tozu sıva

Yüksek doz çimento kaba sıvalar üzerine mermer tozu ve isteğe bağlı olarak normal veya beyaz çimento kullanılarak hazırlanmış son sıva katıdır. Plastikliği artırmak için harca kireç katılabilir. Kullanılan çimento miktarı 500 kg/m³ tür. Beyaz çimento ile yapılanlara istenilen renk oksit boya katılabilir.

Mermer pirinçli veya doğal taş pirinçli sun'i taş sıvalar

Bu sıvalar çimento esaslı kaba sıva üzerine yapılır. Harç, 3-5 mm tane iriliğinde 1 m³ mermer pirinci, 650 kg çimento ve yaklaşık 170 lt su ile karıştırılarak hazırlanır.

Kalınlığı 2 cm olan çıtalarla kareleme yapılan yüzeylerde düz veya şekilli sıvalar elde edilebilir.

Uygulama yöntem ve tekniği mermer sıvalara benzer. Sıva yüzeyi (gereğinde) 24 saat testere ağzı ile kazınarak veya murçlanarak şekillendirilebilir.

Doğal taş (edelputz) sıva

Bu sıvaların yapılışı çarpma sıvalara benzer. Çarpma sıvalardan farkı, malzemelerin karışımı, agrega boyutları ve sıva yüzeyinin östarla düzeltilmesidir. Edelputz sıva, kaba sıva üzerine yapılır. Kaba sıva harcı karışımı 1 m³ kum, 200 kg çimento, 170 dm³ kireç hamurudur. Edelputz sıva harcı karışımı; 250 dm³, 4 mm' ik elekten geçen kum, 750 dm³ 10-16 mm arası özel çakıl, 250 kg çimento ve 150 dm³ kireç hamurudur. Hazırlanan harç, yüzeye 2,5 cm kalınlıkta uygulanır ve mastarlanır.

Püskürtme sıva

Çimento harçlı 2.5 cm kalınlıkta bir kaba sıva yapıldıktan sonra üzerine püskürtme sıva uygulanır. Şayet eski sıva üzerine püskürtme sıva uygulanacak ise eski sıvanın iyice kazınması, yüzeyin yıkanarak tozunun alınması gerekir. Sıva harcı, 1 m³ mermer tozu, 50 kg çimento, 0,3 m³ kireç, 12 kg oksit boya ve yeteri kadar su karışımı ile yapılır. Karışımın kıvamı oldukça önemlidir. Karışımın duvara uygulanması, özel kollu el püskürtme makineleri ile yapılır.

Perdah sıvalar

İç ve dış sıvaların üzerine boya (plastik veya yağlı boya) yapılacak ise düzgün bir yüzey elde etmek üzere perdah yapılır. Perdahlı sıvaların üzerine yağlı boya yapılacak ise yüzeye bezir yağı sürülmelidir. Perdahlı sıvalar, çimento esaslı kaba sıvalı yüzeylere uygulanır. Çelik perdah malası ile ince sıva üzerine yapılan bu tür sıvalar, kullanılan malzemenin cinsine göre değişik isimler alırlar.

2.9.4. Sıva Harcı Yapımında Kullanılan Malzemeler

Sıva harcını oluşturan elemanlardır.

- Bağlayıcı Maddeler
- İnce agrega (kum)
- Karma suyu
- Özel harç katkıları

Bağlayıcı maddeler

İnce toz halinde olan, su ilavesi ile hamur haline gelen ardından plastikliğini kaybedip, sertleşen, yapay taş oluşumunu sağlayan malzemelere bağlayıcı maddeler denir. Bağlayıcı maddelere örnek olarak: alçı, çimento, kireç taşı, cüruf, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, uçucu kül verilebilir. Su eklenen bağlayıcı maddeler başlangıçta şekillendirilebilen plastik hamur halini alır, ardından katılaşmaya başlar. Buna” priz” olayı denir. Priz olayının 2 çeşidi vardır.

1. Hidrolik bağlayıcılar

Havada ve suda priz yapma özelliği olan suda erimeyen bağlayıcılar. (Çimento)

2. Hava bağlayıcıları

Yalnızca havada priz yapan bayıcılar. (Yağlı kireç)

Tarihsel gelişimine göre bağlayıcılar

Alçı

190°C civarında pişirilen doğadaki alçıtaşı, alçı dediğimiz toz halindeki beyaz renkli malzemeye dönüşür.

Sıcaklık 200°C' nin üstüne çıkarsa alçıtaşı, suyunun tümünü kaybeder, ancak elde edilen toz bağlayıcı değildir, yani priz yapmaz. Alçının karıştırılması ve sertleşmesi üretim reaksiyonunun tersi reaksiyonla olur.

Katılmanın fiziksel nedeni kristalleşme, kimyasal nedeni hidratasyondur. Hidratasyon, moleküller yapısına hidrat suyu almak demektir.

Alçı taşının suya dayanıklılığı iyi değildir. Alçının silise (SiO₂, kumun genellikle ana maddesi) bağlantısı da iyi değildir. Alçı harcına kum katılmaz. Alçı, tavan, duvar sıvalarında onarım ve dekorasyon işlerinde kullanılır.

Kireç

Alçıdan sonra kullanılmış olan ikinci bağlayıcıdır. Sadece havada dayanım kazanır, suya dayanıksızdır, mukavemeti düşüktür. Kireç, tabiatta çıkan ve bileşimi CaCO₃ (kalsiyum karbonat=kireçtaşı) olan kalker, mermer, kalsit, tebeşir veya CaCO₃+MgCO₃ (kalsiyum ve magnezyum karbonat) olan dolomit taşlarını iri parçalar halinde kırıp, fırınlarda 900°C sıcaklığında ısıtılarak üretilir. Isıtma sonucu bünyelerindeki karbondioksitin uçması ile (kalsinasyon) sönmemiş kireç meydana gelir.

Sönmemiş kireç bir tekne içine alınıp üzerine bol su dökülürse fazla ısı çıkararak su ile birleşir ve sönmüş kireç haline gelir. Kirecin üretiminde iki aşama vardır. Kireç taşının yakılması ve söndürme işlemi. Eriyik halindeki sönmüş kireç tekmeden toprakta açılan bir çukura akıtılır. Bu yağlı kireç direk kullanılabilirdiği gibi, kurutulup, öğütülüp, toz halinde torbalanarak piyasaya da sürülür.

Yağlı kireç veya torba kireci şeklindeki sönmüş kireç kum ve su ile karıştırılıp harç yapımında kullanılır. Kireç harcı düşük dayanımlıdır, suya dayanmaz, çözülür. Bu yüzden kireç tek başına bağlayıcı olarak kullanılmaz, çimento ile karıştırılarak kullanılır. Sıva, duvar harcında kireç kullanılması yararlıdır. Kireç sayesinde malaya yapışmayan, duvara yapışan ve perdahlama sırasında çatlamayan bir sıva elde edilir.

Kirecin diğ er bir özelliğ i kaynatılması halinde suda eriyirliğ inin azalmasıdır. Kalorifer kazanlarının, borularının tıkanmasındaki neden kirecin bu özelliğ idir.

Tamamen söndürülmeden yapıda kullanılan kireç, söndürülmesi sırasında yapacağı reaksiyonu kullanıldığı yerde yaparak, hcim artmasına ve yapıda bazı hasarların oluşmasına neden olur. Bunun olmaması için, kireç taşları en az 15 gün, şantiyede açılan kireç havuzlarında, su ile temas halinde bulundurulmalıdır.

Kirecin bileş enleri

Kireç; kalker, kalsit, aragonit, tebeş ir ve marn bileş iklerinden oluş maktadır.

Kalker: kalker, detrital, organik veya kimyevi orjinli bir sedimentler kayadır ve doğ ada geniş ölçüde bulunmaktadır.

Çimento klinkerinin elde edilmesinde, CaCO_3 ' ün bütün jeolojik oluş umları kullanılabilir. Kalkerlerin sertlik dereceleri Mohs skolasına göre 1,8-5,0 arasında değ işmektedir. Kalkerler tabiatta saf olarak bulunmazlar.

Bünyelerinde bulunan düşük miktarlardaki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi yabancı maddeler, kalkerlerin saflığ ını ve rengini etkiler. Kalkerin en saf ş ekilleri kalsit ve aragonittir. Kalsithekzagonal, aragonit ise rombik kristalleş ir. Kalsitin özgül ağırlığ ı $2,7 \text{ g/cm}^3$, aragonitin $2,95 \text{ g/cm}^3$ ' tür. Mermer kalsitin gözle görünür taneli bir cinsidir. Mermeri çimento yapımında kullanmak ekonomik yönden olumsuzdur.

Kalker ve tebeş ir, kalsiyum karbonatın en fazla yaygın olan ve mermere en çok benzeyen ş ekilleridir. Kalkerin ince taneli kristallerden oluş an bir yapısı vardır. Kalkerin özgül ağırlığ ı $2,6 \text{ g/cm}^3$ ile $2,8 \text{ g/cm}^3$ arasındadır.

Kalkerin en saf ş ekilleri beyazdır. Genellikle kalkerin içinde rengini etkileyen killi maddeler veya demir bileş iklerinden oluş an katkı maddeleri bulunur.

Kalsit: doğada en çok bulunan kalker mineralidir. Oldukça değişik bir kristal yapıya sahiptir. Kalsitin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'dir. Mükemmel bir rombohedral dizilimi bulunmaktadır. Kalsit saf olduğundan bazen berrak olmasına rağmen genelde opak ve beyaz olup fluorescent özellikleri bulunmaktadır. Asit içerisinde çözüldüğünde CO_2 kabarcıkları çıkarır.

Kalsitin ana oluşumları:

Beyaz mermer; çok ince kristallerden oluşmuş saf kalsittir.

Travertin; betonumsu ve kesif bir yapıya sahip olup genelde bulunur. Yoğun ve serttir, opaktır.

Tüf; beyaz olup travertinin gözenekli kalıntılardan meydana gelir.

Tebeşir; beyaz ve yumuşak olup, mikroorganizmalardan meydana gelmiştir.

Albathr (albatre); bir travertin çeşidi olup serttir. Süs eşyaları yapımında kullanılır.

Oniks (onyx); bir albatr çeşidi olup, albatra göre daha parlak ve yarı şeffaftır.

Saten taşı; liflerden oluşmuş, ipek gibi görünümü vardır.

Aragonit: kimyevi yönden kalsitten farklı olmayan aragonit kristal yapısı değişik olup ortorombik özellik gösterir. Doğada yaygın olarak bulunan kalsitlere nazaran daha sert ve daha ağırdır. Sertlik derecesi 3,5-4 olup özgül ağırlığı 2,9'dur. Rengi beyaz veya gridir. Genellikle midye, istiridye, salyangoz ve diğer denizde yaşayan hayvanların kabuklarında bulunur.

Tebeşir: jeolojik bakımdan nispeten yeni olan bir tortul taşıdır. Kalkerin aksine tebeşirin daha gevşek, topraksı bir yapısı vardır. Bu özelliği tebeşirin yaş sistem çimento yapımında özel bir hammadde olarak kullanılması sağlanmıştır.

Tebeşir elde etmek için patlatma ve kırma gibi işler gerekli olmadığından bu hammadde çimento yapım maliyetlerini önemli ölçüde azaltır. Tebeşirin bazı şekillerinde kalsiyum karbonat miktarı %98-99'dur. Ayrıca içinde az miktarda SiO_2 , Al_2O_3 ve MgCO_3 gibi katkı maddeleri de vardır. Çimento hammaddelerinde kireç komponentinin %76-80 oranında bir yeri vardır.

Marn: içinde silis, killi maddeler ve demiroksit bulunan kalkerlere “marn” denir. Geniş ölçüde yaygın olduğu için çimento yapımında hammadde olarak kullanılır. Jeolojik olarak marn, kalsiyum karbonatın ve killi maddelerin aynı zamandaki çökelti teşekkülü sonucunda oluşmuş bir tortul taştır.

Marnın sertliği kalkerden daha düşüktür. Killi maddelerin miktarı ne kadar artarsa sertlik o kadar düşer. Marnın rengi killi maddelere bağlıdır ve sarıdan gri siyaha doğru değişir. Marn çimento yapımı için üstün bir hammadDEDİR, çünkü içinde kireç ve kil komponentleri homojen bir durumdur. Kimyevi yapısı portland çimentosu ham karışıma benzeyen kireçli marn tek başına çimento yapımında kullanılır. Bu türlü hammadde yatakları çok nadir bulunur.

Puzolanlar

İçerisinde silis (SiO_2) ve alümin (Al_2O_3) bulunduran ve söndürülmüş kireç ve su ile birleştiğinde bağlayıcılık özelliği kazanan bütün malzemelere genel bir isim verilerek *puzolan* denilmektedir.

Puzolan adı verilen bu silisli veya hem silisli hem alüminli maddelerin kireç ve su ile ortak reaksiyonları sonunda suda erimeyen ve suda sertleşebilen karışık bileşimli bir takım kireç-silikat-hidratları veya kireç-alümino-silikahidratları oluşmaktadır. Puzolanik maddeler kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olmadıkları halde, ince olarak öğütüldüklerinde rutubetli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal ve yapay maddelerdir.

Doğal puzolanlar; volkanik küller, volkanik tüfler (traslar), diatomit, pomza taşları ve opalin çeşitleri, bu örneklerin dışında pişirildiği zaman puzolanik özellik kazanan killeri ve şeyleri de bu sınıf içerisinde sayabilmek mümkündür. Tras; silisli ve alüminli maddeleri içeren volkanik bir tüftür. Bir başka deyişle, tras, doğal puzolanlar sınıfına dahil bir malzemedir ve Türkiye’de tras sözcüğü doğal puzolan anlamında kullanılmaktadır.

Yapay puzolanlar; termik santrallerde elektrik üretimi için yakıt olarak kullanılan öğütülmüş kömürden atık malzeme olarak elde edilen ve uçucu kül denilen ince küller, silikon metali veya alaşımlarını elde ederken ortaya çıkan silis buharının yoğunlaştırılması sonucu elde edilen mikrosilis veya silis dumanı, bazı cüruflar (yüksek fırın cürufu), öğütülmüş pişmiş topraktır.

Puzolanik katkılar taze ve sertleşmiş betonda önemli değişmelere sebep olmaktadır. Puzolanik katkılar malzemenin en zayıf bölgelerinde agrega ve çimento pastası arasındaki ara yüzeyde betonun porozitesini azaltmaktadır. Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve pirinç kabuğu külü gibi puzolanik özellikli farklı malzemeler yüksek dayanımlı beton üretiminde önemli bir rol oynamaktadır (Giaccio ve ark., 2007). Yüksek dayanımlı betonlarda, çimento pastası ve agrega arasındaki ara yüzey geçiş bölgesinin mikro yapısı, malzemenin durabilitesi ve dayanımı açısından çok önemlidir.

Ara yüzey geçiş bölgesinde çimento pastasının mikro yapısı; uçucu kül, silis dumanı, metakaolin ve pirinç kabuğu külü gibi ince malzemelerin eklenmesiyle önemli oranda geliştirilebilir (Karlhans, 1990; Saraswathy ve Song, 2007).

Puzolanlar, çimento üzerinde aşağıdaki olumlu etkileri meydana getirirler:

1. çimentonun hidrasyon ısını düşürürler,
2. betonda geçirimsizlikler sağlarlar,
3. çimentonun hidrasyonu sırasında ortaya çıkan serbest kireci bağlarlar,
4. çimentoların ileri yaşlardaki dayanımlarını artırır.

Su kireci ve doğal çimento

1756 yılında John Smeaton en iyi harcın, puzolanın, içlerinde belirli miktarda kil bulunan kireçle karıştırılması ile elde edildiğini bulmuştur. Smeaton'nun araştırmaları, saf olmayan ve içlerinde belirli miktarda kil bulunan kireçlerin suda sertleştiklerini ortaya çıkarmış ve bu çeşit kireçler “su-kireci” adı altında üretilmeye başlanmıştır.

Bir puzolan-kireç karışımı gibi olan bu maddelerde kireç oranı fazla olduğu zaman kireç gibi söndükleri görülür ve adlarına “su-kireci” denir. Kil oranı fazla olduğu zaman ise bunlar kireç gibi sönmez, ancak bağlayıcı özellikleri daha üstün olur ve adına *doğal çimento* denir.

Çimento-yapay çimento

Su-kirecini diğer hidrolik bağlayıcılardaki gelişme takip etmiştir, örneğin James Parker tarafından ufaltılmış killi kireçtaşının pişirilmesiyle elde edilen *Roma çimentosu* gibi. İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir tuğla duvar ustası, taş ustası ve inşaatçı olan İngiliz tarafından ortaya çıkarılan *Portland çimentosunun* patentini almıştır.

Portland çimentosu, ince taneli kil ve sert kalkerden oluşan bir karışım CO₂ ayrılincaya kadar bir fırında klinker için gerekli olan sıcaklıktan çok daha düşük bir sıcaklıkta pişirilerek hazırlanmıştır. Modern çimentosun ilk örneği 1845 yılında Isaac Johnson tarafından kil ve kalker (tebeşir) karışımı klinker oluşuncaya kadar pişirilerek elde edilmiştir.

Çimento üretiminde taş ve kil ocaklarından çıkartılan ve kırılıp ufaltılan killi kalkerli hammaddeleri, uygun oranlarda karıştırılıp *kiln* adı verilen büyük döner fırınlarında 1350-1450°C sıcaklığında pişirilir. Fırınlardaki pişme sırasında kalkerdeki kireç, kildeki silis, alümin ve demir oksit ile birleşerek *klinker* adı verilen ara maddeyi meydana getirir.

Klinker yaklaşık olarak 1-25 mm çapında pürüzlü ve gözenekli yüzeye sahip, sert ve yuvarlak şekildedir, karakteristik olarak, parlak ve yeşilimsi-koyu gri (veya gri-siyah) renktedir. Fırından çıkan klinker soğutulduktan sonra, sertleşme hızını ayarlamak için %3-%6 yı aşmayan oranda alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edildikten sonra çok ince öğütülerek çimento elde edilir. Suyunu kaybetmiş alçıtaşının çimentodaki fonksiyonu çimentonun prizini geciktirmek ve ayarlamaktır.

Kalker, kil karışımının 1350-1450°C civarında pişirilmesi, içine ergimeyi kolaylaştırmak için demir filizi içeren toprak katılması, meydana gelen ceviz büyüklüğündeki granüle malzemeye (bunlara klinker denir) az oranda alçıtaşı ilave edildikten sonra çok ince olarak öğütülmesi çimentonun üretimi ve üretim aşamalarıdır. Kalker sıcaklık etkisiyle ayrışarak kirece (yani CaO = sönmemiş kireç = kalsiyum oksit), kİL ayrışarak silis ve alümine (yani SiO_2 ve Al_2O_3) dönüşür, bu arada kilde ve ilave edilen ergitici toprakta bulunan demir de demir oksit (Fe_2O_3) şeklinde ortaya çıkar.

Çimento dayanım sınıfları: Çimentolar için 3 standart dayanım sınıfı belirlenmiştir: 32,5 MPa, 42,5 MPa ve 52,5 MPa bu değerler TS EN 196-1'e göre tayin edilen 28 günlük basınç dayanımları ile ilişkilidir. TS EN 197-1'de karakteristik değerler olarak belirtilmişlerdir. Ayrıca her standart dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu amaçla

- N: Normal erken dayanım sınıfını,
- R: Yüksek erken dayanım sınıfını belirtmektedir.

Çimento standartları: Avrupa Birliği Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization) 1990'lı yıllarda bütün üye ülkeleri kapsayan bir çimento standardı ENV-197 1 *Common Cements* standardını hazırlamıştır. Böylece Avrupa Birliği'ne dahil ülkelerin ulusal çimento standartlarında bulunan farkların giderilmesi amaçlanmıştır.

Ülkemizin Avrupa Birliği üyeliğinin söz konusu olması ile birlikte Türk Çimento Standartları da yenilenmiş ve bazı değişiklikler yapılarak yeni bir çimento standardı TS EN 197-1 hazırlanmıştır.

Çizelge 2.7. TS EN 197-1 Standardında çimentolar

CEM-I	Portland çimentoları
CEM-II	Portland kompoze çimentoları
CEM-III	Yüksek fırın cüruf çimentoları
CEM-IV	Puzolanlı çimentolar
CEM-V	Kompoze çimentolar

Çizelge 2.8. Çimento tip ve standartları

TİP		İSİM	STANDART	YENİ STANDART EN 197-1(*)
PÇ	52,5	Portland Çimento	TS 19/Mart1996	CEM I 52,5N *
PÇ	42,5	Portland Çimento	TS 19/Mart1996	CEM I 42,5R *
KZÇ/A	32,5R	Kompoze Çimento	TS 12142/Mart1997	CEM V-A 32,5N *
PKÇ/A	42,5R	Portland Kompoze Çimento	TS 12143/Mart1997	CEM II-A/M 42,5R *
SDÇ	32,5	Sülfata Dayanıklı Çimento	TS 10157/Mart1996	
CEM I	52,5N CE PM NF	Portland Çimento		Fransız Std. Uygun NF EN 197-1
CEM I	52,5 N	Portland Çimento		Avrupa Std. Uygun EN 197-1
CEM I	42,5 R	Portland Çimento		Avrupa Std. Uygun EN 197-1
CEM II-A/M	32,5N	Portland Kompoze Çimento		Avrupa Std. Uygun EN 197-1
Type	I/L.A	Portland Çimento / Düşük Alkalili		Amerikan Std. Uygun ASTM C 150
Type	II/L.A	Portland Çimento / Düşük Alkalili		Amerikan Std. Uygun ASTM C 150
Type	I- II/L.A	Portland Çimento / Düşük Alkalili		Amerikan Std. Uygun ASTM C 150
Type	V	Sülfata Dayanıklı Çimento		Amerikan Std. Uygun ASTM C 150
Type	I- II/L.A	Portland Çimento		Amerikan Std. Uygun AASHTO M 85

Çimento hammaddesi ve katkı maddeleri: Çimento yapımında hem tabii mineraller hem de endüstriyel ürünler kullanılabilir. Kireç, silis, alüminyumoksit (killi toprak) ve demiroksidi içeren mineraller çimento yapımında hammadde olarak kullanılırlar. Bu komponentler çok nadir olarak istenilen yapıda, yalnız bir hammadde içinde bulunurlar.

Bunun için kireç bakımından zengin olan bir komponentin (kireç komponenti) ya da kireç bakımından fakir fakat daha fazla silis, alüminyumoksit ve demiroksit içeren bir komponentin (kil komponenti) hesaplanmış karışımı seçilmelidir. Bu ana komponentler kalker ve kil veya kalker ve marndır.

İnce agrega (Kum)

Agrega ya da kum harç ve sıva yapımında, bağlayıcı maddelerle birlikte kullanılan, mineral kökenli, farklı boyutlara sahip malzemelerdir. Doğal veya yapay yollarla elde edilmeleri olasıdır. Kum ve çakıllar doğal agregaları oluştururken, kırma taşlar, yüksek fırın cürüfları, kazan külleri, pişmiş killer ve bunların geliştirilmesiyle elde edilen maddeler yapay agregaları oluşturur. Malzeme ocaktan çıkarıldığı gibi kullanılıyorsa, tüvonon agrega olarak, yıkandıktan sonra kullanılıyor ise sınıflandırıldığı agrega grubu adı altında isimlendirilir.

Agregalar, ince ve iri agrega olarak iki gruba ayrılmaktadır. İnce agrega boyutları belirli bir değerden küçük olan malzemelerden, iri agrega ise boyutları belirli bir değerden büyük olan tanelerden oluşur. Kum ve çakıl bu gruplar içerisinde. Bazı durumlarda iri veya ince agrega yerine doğal taş bloklarının konkasör ile kırılması sonucu elde edilen kırma taş ve yapay ince agrega da kullanılabilir (Mavi, 2000).

Katkı malzemeleri

Harç ve sıvalara yeni özellikler kazandırmak üzere bağlayıcı ve dolgu maddeleri ile karıştırılarak kullanılan malzemelere verilen genel bir isimdir.

Sıvanın tarihte ilk kullanımında bu yana içerisinde harcın ve sıvanın kan, yumurta, zank gibi organik malzemeler ve reçineler ile kırılmış ve öğütülmüş toprak malzemeler, demir cevheri, odun kömürü gibi inorganik malzemeler kullanılmıştır.

Günümüzde kullanılan katkı maddeleri, donmaya karşı olanlar (kalsiyum klorür), suya direnç gösterenler (kalsiyum stearat veya mineral yağlar), hava sürükleyicileri (kalsiyum lignosülfat), su emmeyi geciktirenler (naphto-sülfat, sodyum glukonat), renk vericiler (çeşitli pigmentler) şeklinde karşımıza çıkar.

Harç yapımında kullanılan bu maddelerin hızlandırıcı, plastikleştirici, geciktirici özellikleri vardır (Güleç, 1992).

Karma suyu

Üretim aşamasında kullanılan suya karma, karışım ya da yoğurma suyu adı verilir. Karma suyunun iki önemli görevi vardır. Birincisi çimentonun hidrasyonunu sağlamak ikinci ise agrega ve çimento tanelerini ıslatarak harca belirli bir kıvam vermektir. Karma suyu taze harcın özelliklerini olumsuz yönde etkilememelidir (Uluata, 1981).

Karma suyunda organik maddeler, madensel ve organik yağlar, sanayi atıkları ile kullanılacak bağlayıcıya zararlı etkileri olabilecek miktarlarda bileşikler ve lağım suları bulunmamalıdır. Bu konuda kullanılacak suyun en iyi içilebilecek özellikte veya zararlı maddelerden ayrılmış, TS 1247 ve TS 500 de belirtilen koşullara uygun olmalıdır.

2.10. Agregas

2.10.1. Tanımı

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir (Özışık, 1998).

2.10.2. Özellikleri

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Agregas maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agregas betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonda agregas kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanım sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Agregas, kaba ve ince agregas olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agregas “mıcır” ya da “çakıl”, ince agregas “kum” olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyuttur. 4 mm den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma agregas, 4 mm den küçük boyuttaki kısma ince agregas denir (Cilason, 1992).

Beton hacminin %60-80’ni agregas bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agregas, gereken mukavemete sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır aşınmaya maruz kalacak bir betonun agregası yeterli aşınma mukavemetine sahip olmalıdır. Don yapan iklimlerde kullanılacak betonun agregası ise dayanıklılık bakımından don etkisi için konmuş standartları karşılamalıdır (Erdoğan, 1994).

Agrega bileşeninin uygun bir tane boyu dağılımı (granülometri) göstermesi çok önemlidir. İyi bir granülometriye sahip agregada içindeki hava boşluğu, daha az olacaktır. Dolayısı ile yoğunluğu da artacaktır. Bu şekilde, toplam beton hacmi içinde çimento-su harcı daha ekonomik olarak kullanılabilir ve beton istenilen yere kolaylıkla, kalitesi bozulmadan yerleştirilebilir.

Betonun sıkıştırılmasındaki kolaylık ve zorluğuna işlenebilirlik denir. *segrasyon* diye tabir edilen husus betonda agregada ile harcın ayrışmasıdır.

Ağır olan agregada aşağı kısımda kalırken ince harç ve su betonun üst kısmında toplanır. Dolayısı ile arzu edilen dayanıklılığa erişilmez.

Betonda agregada kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını arttırması çevre etkilerine karşı dayanıklılığını arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agregada bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kurumması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agregada tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur (Erdoğan, 1995).

2.10.3. Çeşitleri ve özellikleri

Agregada (Kum-Çakıl)

Doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin yığıdır. Aşağıda agregada çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir.

Doğal agregada

Teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadadır.

Yapay agrega

Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır (yapay taş veya yapay kum da denir).

İri agrega

4 mm açıklıkta kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl

Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırma taş

Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kum

Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregalardır.

Kırma kum

Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Karışık agrega

İnce ve iri agrega karışımıdır.

Doğal karışık agrega (Tuvenan agrega)

Agrega ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalarla da doğall karışık agrega denir.

Hazır karışık agrega

İnce iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır.

2.10.4. İdeal agrega standartları

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS706 standardının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir (Çağlayan ve ark., 1999).

Tane dağılımı

Agreganın tane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir. Beton yapımında kullanılan agregalara ait tane dağılımları verilen standartlara uygun olmalıdır.

Tane şekli

Agrega tanelerinin şekli, olabildiği kadar küre ve kübik olmalıdır.

Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

Tane dayanımı

Agrega taneleri, istenilen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır.

Donmaya karşı dayanıklılık

Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olamayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler

Betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasının tehlikeye düşüren maddelerdir.

Dağılıp ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır; yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

Yıkanabilir maddeler

Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agregatanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

Organik kökenli maddeler; humuslu ve diğer organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde buldukları zaman renk değişmesine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler.

Sertleşmeye zarar veren maddeler

Kükürtlü bileşikler

Kükürtlü bileşikler cinslerine, agregada içindeki miktarlarına ve yapının içinde bulunduğu ortam koşullarına bağlı olarak, betonda zararlı değişikliklere neden olabilirler. Burada kükürtlü bileşiğin cinsi ve dağılışı önemlidir. Örneğin iyi sıkıştırılmamış betonlarda, hava akımı ve rutubet vasıtasıyla oksitlenen sülfatlar (alkali sülfatlar jips, anhidrit gibi) zararlı olabilir.

Sülfatlar betondaki kireç ve alüminyum bileşikleriyle reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olurlar.

Çeliğe zarar veren maddeler

Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin nitratlar, halojenler (florür hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır. Ön gerilmeli beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, kolr olarak hesaplandığında ağırlıkça %0.2' den fazla bulunmamalıdır.

Alkali agrega reaktivitesine neden olan faktörler

Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girerler ve önce berrak ve yüksek konsantrasyonlu sonra yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisini meydana getirirler.

Agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğü ve dağılışına betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkalihidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir. Betondaki alkali reaksiyonu önce normal koşullar altında sertleşmiş olan betonda zamanla yüzeye yakın bulunan alkaliye duyarlı agrega tanelerinin ayrışmasına veya betondan kopmasına, çatlaklara ve aşırı halde betonun parçalanmasına neden olur.

Çizelge 2.9. Agrega standartları

EN 12620	Aggregates for Concrete	TS 706 EN 12620	Beton agregaları
EN 932-3	Tests for general properties of aggregates - Part 3 : Procedure and terminology for simplified petrographic description	TS 10088 EN 932-3	Agregaların Genel Özellikleri için Deneyler - Kısım 3- Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji
EN 933-1	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1 : Determination of particle size distribution - Sieving method	TS 3530 EN 933-1	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler: Bölüm 1- Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu
EN 933-3	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3 : Determination of particle shape – Flakiness index	TS 9582 EN 933-3	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler: Bölüm 3- Tane Şekli Tayini – Yassılık Endeksi
EN 933-4	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 4 : Determination of particle shape – Shape index	TS 3814 EN 933-4	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler: Bölüm 4- Tane Şeklinin Tayini – Şekil İndisi
EN 933-7	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 7 : Determination of shell content – Percentage of shells in coarse aggregates	TS EN 933-7	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Kısım 7: İri Agregalarda Kavkılardan Yüzdesi – Kavkı İçeriğinin Tayini
EN 933-8	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 8 : Assessment of fines- Sand equivalent test	TS EN 933-8	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 8: İnce Tanelerin Tayini – Kum Eş değeri Tayini
EN 933-9	Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9 : Assessment of fines- Methylene blue test	TS EN 933-9	Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini – Metilen Mavisi Deneyi
EN 1097-2	Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2 : Methods for the determination of the resistance to fragmentation	TS EN 1097-2	Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler –Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar

Çizelge 2.9. (Devam) Agregat standartları

EN 1097-3	Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 3 : Determination of loose bulk density and voids	TS EN 1097-3	Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler: Bölüm 3- Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini
EN 1097-6	Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6 : Determination of particle density and water absorption	TS EN 1097-6	Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler –Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini
EN 1367-1	Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 1 : Determination of the resistance to freezing and thawing	TS EN 1367-1	Agregaların Termal ve Atmosferik Etkilere Karşı Özellikleri için Deneyler - Bölüm 1:Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini,
EN 1367-2	Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 2 : Magnesium sulphate test	TS EN 1367-2	Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler – Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi
EN 1367-4	Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 4 : Determination of drying shrinkage	TS EN 1367-4	Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler – Bölüm 4: Kuruma Çekmesi Tayini
EN 1744-1	Tests for chemical properties of aggregates - Part 1 : Chemical Analysis	TS EN 1744-1	Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler – Bölüm 1: Kimyasal Analiz

2.10.5. Agregaların beton dayanımına etkisi

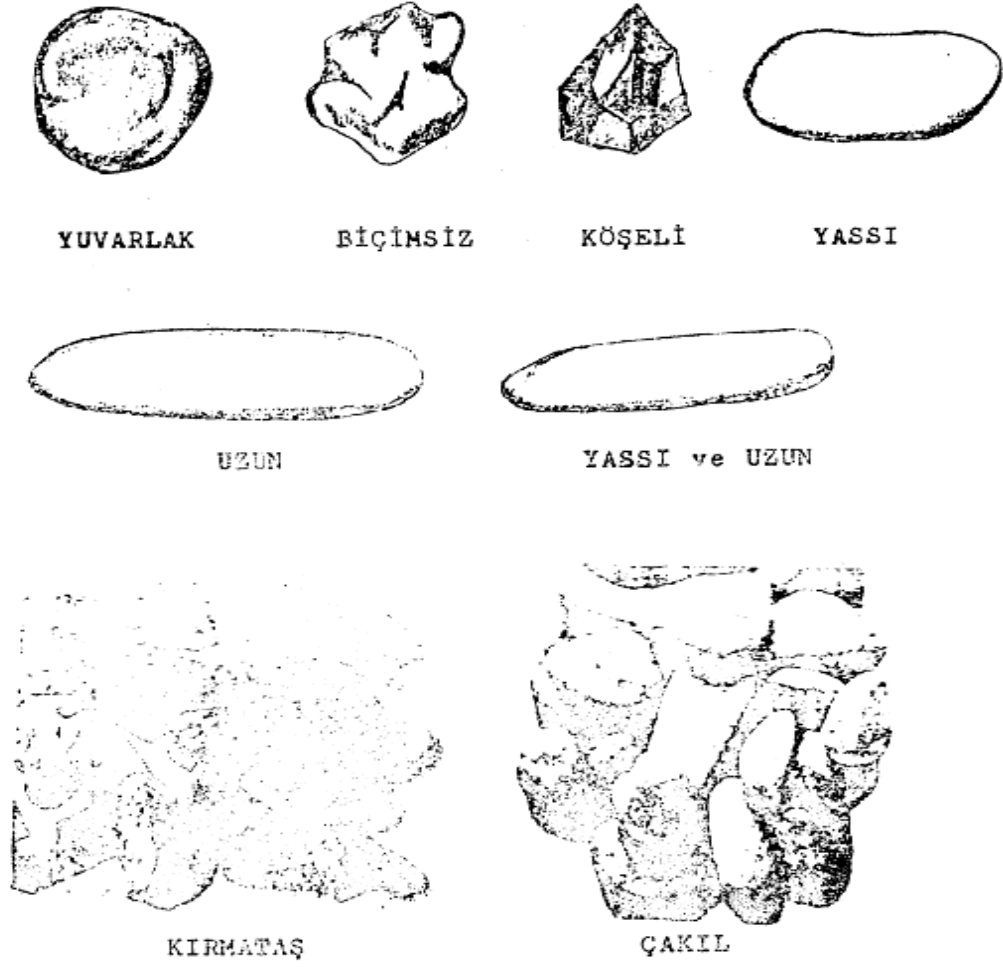
Çimento hamuru, matrisin dayanımının artmasıyla birlikte ara yüzeydeki homojen gerilme dağılımı sonucu, oluşan çatlakların agreganın içinden geçme olasılığı artar ve bununla beraber beton dayanımı yükselir. Bu durumda agreganın dayanımı önem kazanır (Işık, 2003).

Düşük dayanımlı hafif agregalar ile genel olarak kullanılan normal ağırlıktaki agregaların beton içinde davranış ve beton dayanımına etkileri farklıdır. Normal ağırlıktaki agrega, normal dayanım sınırları içinde betonun basınç dayanımını fazla etkilemez. Burada daha çok ara yüzey özellikleri ve agrega-hamur arasındaki aderans ile agrega tane şeklinin beton işlenebilmesine olan etkisi rol oynar (Yeniboğalı, 1999).

Kırmataş gibi yüzeyi pürüzlü, köşeli agrega ile dere çakılı gibi yüzeyi düzgün, yuvarlak agrega kıyaslandığında olumlu ve olumsuz etkilerin dengelendiği görülmektedir (Işık, 2003).

Çizelge 2.10. Tane şeklinin betona etkisi (Yeniboğalı, 1999)

Agrega tanesi	Beton için gerekli su ihtiyacı	Çimento hamuru ile aderans
Yuvarlak, düzgün yüzeyli	Daha az	Daha zayıf
Köşeli, yüzeyi pürüzlü	Daha çok	Daha kuvvetli



Şekil 2.2. Agrega tane biçimleri (Kocataşkın, 1973)

Betonda eğilme dayanımının yüksek olması istendiğinde kırmataşların, yüksek dayanımlı betonlarda da yüksek dayanımlı kayalardan kırılarak elde edilen agreganın kullanılması önerilmektedir. Agrega ara yüzeyindeki toz vb. ince malzeme beton karıştırılırken yüzeyden ayrılıyorsa belirli bir işlenebilirlik düzeyi için su ihtiyacını arttırmanın dışında sakınca yaratmaz.

Ancak, agrega tanesi yüzeyine yapışık kalan killi malzeme çimento hamuru ile aderansı olumsuz olarak etkiler ve beton dayanımında önemli azalmalara neden olabilir (Işık, 2003).

Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma'ya dayanıklılık; agregada hacim sabitliği donma-çözülme, ıslanma-kuruma ve ısınma-soğuma gibi dış etkenler karşısında büyük veya kalıcı hacim değişikliklerine uğramaması olarak tanımlanır. Bu da agreganın mineral yapısına ilaveten gözenek özellikleri ve geçirgenliği ile ilişkilidir (Yeniboğalı, 1999). Gözenekleri tamamen suya doyabilen agregalar suyun donması durumunda parçalanabilirler. Burada agreganın kristal yapısı ile çekme dayanımı da önem kazanır. Islanma-kuruma devirleri agreganın gözenek yapısına bağlı olarak hacim değişikliği meydana getirdiklerinden ara yüzeyde, agreganın elastisite modülüne bağlı olarak gerilmeler meydana gelebilir (Işık, 2003).

Isınma-soğuma'ya dayanıklılık; normal ağırlıktaki agregaların ısı genleşme katsayıları $(5-12)10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ arasında, çimento hamurununkine ise $(10-20)10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ arasında değişir. Normal koşullarda, katsayılar arasındaki farkın $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 'dan ve sıcaklık değişiminin 30°C 'dan fazla olmamaları halinde bir sakınca görülmez. Ancak bu değerler aşıldığında agrega ile hamur arasında meydana gelebilecek ısı gerilme ve deformasyonlara dikkat edilmelidir (Yeniboğalı, 1999). Alkali-silika reaksiyonuna reaktif silis içeren agregaların yüksek alkali çimentolarla birlikte kullanılması halinde rastlanmaktadır (Işık, 2003).

2.11. Kaynak Araştırması

Nehdi ve ark. (2003) , pirinç kabuğunun kontrolsüz yanmasıyla ilişkili çevresel kaygıları azaltmak ve yerel inşaat sektörüne ek bir çimento malzemesi sağlamak amacıyla pirinç kabuğunun kontrollü yanmasını sağlayacak yeni bir tekniğin kullanımını incelemişlerdir. Kullanmış oldukları reaktör, yüksek bir hızda sabit açılı yapraklardan geçmesi sağlanan hava akımının püskürtülmesi yoluyla, işlenen parçacıkların süspansiyonunu sağlayarak, pirinç kabuğunun kısa sürede verimli yanmasını sağlamış.

Bu yöntemle elde edilen pirinç kabuğu külünün incelenmesi, oksit analizi, X-ışını difraksiyonu, karbon içeriği, öğütülebilirlik, su ihtiyacı, pozolanik aktivite endeksi, yüzey alanı ve parçacık boyutu dağılım ölçümlerini içermiş.

Ek olarak, çeşitli oranlarda silika isi (SF) ve farklı yanma ısılarında üretilen pirinç kabuğu külü içeren beton karışımları hazırlanıp karşılaştırılmış.

İşlenebilirlik, süperplastikleştirici ve hava boşluğu yapan katkı ihtiyaçları ve bu beton karışımlarının çeşitli yaşlarındaki kompresif güçleri değerlendirilmiş ve onların hızlı klorit geçirgenliğine ve buz çözücü tuz yüzey soyulmasına olan dirençleri incelenmiştir.

Chindaprasirt ve ark. (2006) öğütülmüş palmye yağı yakıt külü, öğütülmüş pirinç kabuğu külü ve ince uçucu kül içeren karıştırılmış Portland çimento harcının klorit geçirgenliğine direnci üzerine çalışmışlar. Sıradan Portland çimentosu yerine, çimentomsu malzemelerin ağırlığının %20 ve %40'ı dozajlarında bölüm bölüm pozolan kullanılmış. Su/çimento oranı 0,5 sabitinde tutulmuş ve harç akışı süperplastikleştirici yardımıyla 110 +/- %5'te tutulmuş. Harçların kompresif gücü, hızlı klorit geçirgenlik testi (RCPT), hızlı migrasyon testi (RMT) ve 30 gün %3 NaCl solüsyonuna daldırıldıktan sonraki klorit geçirgenlik derinliği belirlenmiştir.

Hu ve ark. (2005) Pirinç kabuğu külü, yüksek performanslı betonda çimento harcıyla, çakıllı kum arasındaki ara yüzeysel geçiş bölgesinin mikro yapısının iyileştirilmesi için reaktif bir pozolanik malzeme olarak kullanmıştır. Bu çalışmada, yüksek güç/yüksek performans aralığındaki gap-graded betonun kompresif gücü üzerine, pirinç kabuğu külü-karıştırılmış Portland çimentosuna dahil olan parçacık boyutu aralıklarının etkileri üzerine yapılan birleşik mekanik ve bilgisayar simülasyonu incelemiştir.

Gemma ve ark. (2005), "Betonun Gücünün Pirinç Kabuğu Külü ile Geliştirilmesi" adlı çalışmalarında Uruguay'daki bir çeltik öğütme tesisinden elde edilen pirinç kabuğu külü, ve ABD'de kontrollü yakmayla elde edilmiş pirinç kabuğu külü'nün kullanıldığı, pirinç kabuğu küllü betonların 91 güne kadar kompresif gücünün geliştirilmesini sunmuşlardır. %10 ve %20 olmak üzere iki farklı çimento yerine pirinç kabuğu külü koyma yüzdesi, ve 0,50, 0,40, 0,32 olmak üzere üç farklı su/çimentomsu malzeme oranı kullanılmış.

Habeeb ve ark. (2009) “Pirinç Kabuğu Külü Betonu: pirinç kabuğu külü Ortalama Parçacık Boyutunun Mekanik Özellikler ve Kuruma Çekmesi Üzerine Etkisi” adlı çalışmalarında, üretilen pirinç kabuğu külü karışık betonun mekanik özellikleri ve kuruma çekmesi üzerine, pirinç kabuğu külü ortalama parçacık boyutunun etkisini deneysel olarak incelemişler. Üç farklı ortalama parçacık boyutu olan (başka deyişle, sırasıyla 31,3, 18,3 ve 11,5 um) yerel olarak üretilmiş pirinç kabuğu külü çimento yerine, ağırlığının %20'si oranında kullanılmış. Karışım oranları, 40 MPa olarak hedeflenen güçle, yüksek işlenebilirliğe sahip pirinç kabuğu külü karışımı üretmek üzere (200-240 mm slump) değiştirilmiş.

Givi ve ark. (2010), “Pirinç Kabuğu Külünün Harç ve Betonun Özelliklerine Katkıları” adlı çalışmalarında; son on yılda ek çimento malzemelerinin; uçucu kül, silika isi, öğütülmüş granülleştirilmiş maden eritme ocağı posası, pirinç kabuğu külünün kullanımı araştırmışlar, harç ve betonda, çimento yerine kısmi olarak pirinç kabuğu külü kullanımı üzerine yapılmış çalışmaları sunmuşlar, harç/betonun mekanik, dayanıklılık ve yeni özelliklerini rapor etmişlerdir.

Kartini ve ark. (2009) “30 Derece Pirinç Kabuğu Külü Betonunun Güç Özellikleri” çalışmalarında altı dizi beton karışımı hazırlamış, bunların üçü farklı oranlarda (%20 ve %30) pirinç kabuğu külü içeren kontrol karışımları olarak hazırlanmışlardır (sıradan portland çimentosu betonu). Bu karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,63, 0,68 ve 0,70'te sabitlenerek, 40-50 mm slump elde etmek üzere tasarlamışlardır. Diğer üç karışım sıradan portland çimentosu, ve su/çimentomsu malzeme oranını 0,63'te sabit tutarken 100-150 mm aralığında slump elde etmek için süper plastikleştirici içeren %20 ve %30 pirinç kabuğu külü olmuştur.

Bu çalışmanın sonuçları göstermiş ki, süper plastikleştirici eklemenin ve sıradan portland çimento yerine kısmi pirinç kabuğu külü koymanın birleşik etkisi, süperplastikleştiricisiz olana göre daha yüksek kompresif güç sağladığını görmüşlerdir.

Süperplastikleştiricili ve süperplastikleştiricisiz pirinç kabuğu külü betonun fleksüral gücünün daha az, süperplastikleştiricisiz olanın ileri aşamalarda gerilme direnci sıradan portland çimento betondan daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Materials research'ün 2010 yayınındaki çalışmada özel bir betonarme olan ferrocement fırını kullanılarak üretilen pirinç kabuğu külünün özellikleri incelenmiş. İlk olarak öğütmenin parçacık boyutu ve yüzey alanı üzerine etkisi incelenip, daha sonra XRD analizi uygulanarak külde amorphous silica varlığı kanıtlanmaya çalışılmış. Pirinç kabuğu külü ortalama parçacık boyutu ve yüzdesinin, beton işlenebilirliği, taze yoğunluk, süperplastikleştirici miktarı ve kompresif güç üzerine etkisi incelenmiş.

Pirinç kabuğu külünü öğütmek, parçacık boyutunu azaltsa da, yüzey alanını kontrol eden ana faktör olmadığını ve bu yüzden pirinç kabuğu külünün çok katmanlı, açılı ve küçük gözenekli yüzeyinden kaynaklı oluşunu görmüşler. Betona pirinç kabuğu külü eklenmesi su ihtiyacını arttırmıştır.

Pirinç kabuğu külü betonu %10 oranında eklendiğinde güç anlamında mükemmel gelişme sağlamış (kontrol karışımına oranla %30.8 artış) ve %20'ye kadar çimentonun yerine, gücü olumsuz alanda etkilemeden, pirinç kabuğu külünün koyulabildiğini görmüşler. Pirinç kabuğu külünün inceliğini arttırmak, karışık betonun gücünü, daha iri taneli pirinç kabuğu külü ve kontrol karışı olan sıradan portland çimentosuna oranla arttırdığını görmüşler.

Mehta (2004) "Sürdürülebilir Gelişme İçin Yüksek-Performanslı, Yüksek Hacimli Uçucu Kül Beton" adlı yayınında çimentomsu malzeme kütesine oranla %50'den fazla uçucu kül barındıran beton karışımlarının teori ve inşaat uygulamasının kısa bir incelemesini sunmuş. Betona yüksek hacimde uçucu kül eklenmesinin, su ihtiyacını azaltmasını, işlenebilirliği artırmasını, termal ve kuruma çekmesi nedeniyle çatlama en aza indirgemesini ve tekrarlanan korozyon, sülfat saldırısı ve alkali-silika genişlemesine karşı dayanıklılığı güçlendirmesini sağlayan mekanizmalar tartışılmış.

Çin ve Hindistan gibi ülkeler için, bu teknolojinin, sürdürülebilir bir biçimde altyapı için olan büyük talebi karşılamaında önemli rol oynayabileceğini öngörmüş.

Erdoğdu ve Türker (1998) “Uçucu Kül Parçacık Boyutunun Portland Çimento Uçucu Kül Harçlarının Gücü Üzerine Etkileri” çalışmalarında, farklı uçucu kül boyut fraksiyonları, standart kompresif güç harçlarında kısmi olarak çimento yerine kullanılmış. Portland çimentosu-uçucu kül harçlarının güçlerini, kullanılan uçucu kül boyut fraksiyonlarının kimyasal, minerolojik, morfolojik ve fiziksel özellikleri bakımından yorumlamayı hedeflemişler. Harçların güçleri 2, 7, 28 ve 90. günlerde karşılaştırılmış. Hepsi bir arada kül harçlarının güçleri (tüm fraksiyonları kapsayan orijinal kül), boyut fraksiyonlarını içeren harçların gücü kullanılarak kestirilmiş ve bu kestirimin uygunluğu tartışılmış.

Safiuddin ve ark. (2010) “İnşaat Malzemelerinde Katı Atıkların Kullanılması” adlı çalışmalarında, inşaat malzemelerinin üretilmesinde çeşitli katı atıkların potansiyel kullanımını araştırmışlar. Birçok katı atığın kullanım alanları ve özellikleri araştırılmış bunula beraber devam eden çalışmalarda yapılması gerekenler, geliştirilebilecek yöntemler sunulmuştur. Araştırma sonucunda her bir katı atığın kullanım alanının varoluşundan ve uygulamada eksikliğin bulunduğu rapor edilmiş. Aşağıda araştırma sonucu çıkan tablolar verilmiştir.

Çizelge 2.11. Atıkların gerçek alanda kullanımları araştırma sonuçları
(Safiuddin ve ark. 2010)

Katı atığın adı	Yapı malzemeleri	Gerçek inşaatta kullanımı
Uçucu kül	Yüksek performanslı beton	Water Tower Place, Chicago
Taban külü	Mıcırılar	Sub-base of a road section, Brest,
Öğütülmüş yüksek fırın cürufu	Yüksek performanslı beton	The Scotia Plaza, Toronto, Canada
Pirinç kabuğu külü	Dizme bloklar	Sustainable housing in Malaysia
Palmiye yağı yakıt külü	Dizme bloklar	Sustainable housing in Malaysia
Bambu elyafı	Bambu elyaf takviyeli plastik kompozit	Low cost housing in India
Ocak atığı	Mıcırılar	Base layer of flexible pavement, Sobradinho, Brasilia, Brazil
İnşaat ve yıkım enkazı	Geri dönüşümlü beton mıcırı	Apron sub-base of Terminal 2, Lester B. Pearson International Air Port, Toronto, Canada

İşbilir ve ark. (2010), “Pirinç Kabuğu Külünün Beton Durabilitesine Etkisi” çalışmalarında, taze beton karışımlarında pirinç kabuğu külünün puzolanik reaktivitesinin terlemeye ve segregasyonda azalma meydana getirerek işlenebilirlikte önemli derecede iyileştirmeye sebep olduğu, pirinç kabuğu külünün çimento hamuru içerisinde birçok C-S-H jeli oluşturarak gözenekli yapıda önemli derecede azalma meydana getirdiğini gözlemlemişler. Pirinç kabuğu külünün yüksek dolgu etkisi ile betonun geçirimsizliğinin azalmasına, beton bünyesindeki çeliğin korozyonu engelleyerek ve donma çözünmeye karşı iyi bir direnç sağlayarak beton durabilitesinde olumlu bir etki gösterdiği ve betonun yüksek dayanıma ulaşmasına yardımcı olduğunu ortaya çıkarmışlar.

Pirinç kabuğu külünün beton özellikleri üzerindeki olumlu etkisini değerlendirmiş, pirinç kabuğu külünün kullanımının sadece çevre yönünden değil aynı zamanda beton durabilitesine dolayısıyla sürdürülebilir bir beton elde edilmesine de çok büyük katkı sağlayacağını düşünmüşler.

Yıldız ve ark. (2007), “Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi” çalışmalarında; 600 °C’de yakılmış pirinç kabuğu külü çimentonun ağırlığınca %0, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında beton içerisine katıp, elde edilen beton numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımları araştırmışlardır. Deneyler için biri kontrol numunesi olmak üzere toplam altı grup beton numunesi, belirlenen oranlarda pirinç kabuğu külü ilave edilerek ve sabit işlenebilirliğe göre hazırlamışlar. Beton numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımları 7, 14, 28 ve 90. günler sonunda bulmuşlardır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan pirinç kabuğu külünün puzolanik aktivitesi de araştırılmış. Deneysel çalışma sonucunda, %10 pirinç kabuğu külü içeren betonların hem basınç hem de eğilmede çekme dayanımlarında artış gözlemlermişler. Ancak pirinç kabuğu külünün yüksek su emme kapasitesinden dolayı, %15, 20, 25 ve 30 oranlarında pirinç kabuğu külü katkılı betonların hem basınç hem de eğilmede çekme dayanımlarında azalma meydana geldiğini rapor etmişler.

Beycioğlu ve ark. (2008), “Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması” çalışmalarında. ; büyük çevre sorunları haline gelen endüstriyel atıklardan, atık araç lastikleri, uçucu küller, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu ve mermer toz atıklarının inşaat sektöründe kullanılabilirliğini incelemişlerdir.

Endüstriyel gelişime paralel olarak ortaya çıkabilecek atık malzemelerin faydalı geri kazanım mekanizmaları ile tekrar kullanılabilirliği ve olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması üzerine yapılacak çalışmaların çevresel korunum ve insanlığın geleceği açısından çok önemli olduğunu belirlemişlerdir.

Balkabak ve Ürgüp (1997) “Çeltik Kabuğu ve Külünün Çok Amaçlı Beton Üretiminde Değerlendirilmesi” çalışmalarında; ülkenin önemli bir zirai atığı olan çeltik kabuğundan ve çeltik kabuğu külünden yararlanabilme imkanlarını araştırmak, üretilen numunelerin özelliklerini tespit etmek ve bulunan değerlere göre yapı alanında kullanılabileceği yerleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda çeltik kabuğunun hafif betonların üretiminde, ısı ve ses yalıtımı amaçlı yapı elemanlarında kullanılabileceğini saptamışlar. Pirinç kabuğunun yakılarak ısı enerjisi elde edilebileceği, açığa çıkan külün yüksek oranda SiO₂ içermesi nedeniyle yüksek performanslı beton üretiminde kullanılabileceği veya çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini saptamışlar.

Çavdar ve ark. (2011), “Kağıt Fabrikası Arıtma Suyu Çamuru Üretilen Yonga Levhaların Fiziksel Mekanik Özellikleri” adlı çalışmalarında kâğıt fabrikalarının arıtma suyu çamurunun çimentolu yonga levha üretiminde katkı maddesi olarak kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Bu amaçla kâğıt fabrikası arıtma suyu çamuru çimentoya oranla %10, %20 ve %30 olarak kullanmışlar. Üretilen levhaların fiziksel (yoğunluk, su alma oranı, kalınlık artış miktarı) ve mekanik (eğilme direnci, eğilmeye elastikiyet modülü, çekme direnci) özellikleri belirlenmiş. Kâğıt fabrikası arıtma suyu çamuru kullanımının; çimentolu yonga levhaların mekanik özelliklerinde artışa neden olurken, levhanın fiziksel özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığını gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar ışığında; kâğıt fabrikası atık çamurunun katkı maddesi olarak çimentolu yonga levha üretiminde kullanımının mümkün olduğunu rapor etmişlerdir.

Batar ve ark. (2009) çalışmalarında; katkı malzemesi olarak %0-5 perlit, %0-2,5 atık kağıt, %0-5 kalsine tinkal (boraks) ve %3,5-17,7 atık kalsine tinkal kullanılarak sıva malzemesi üretmişlerdir. Optimal karışım oranları %3 perlit, %1,5 atık kağıt, %7,1 atık kalsine tinkal olarak bulunmuş. Üretilen malzemelerin mukavemet ve ısı geçirgenlik direnç deneyleri TS 825 ve TS 12808-3 standartlarına göre yapılmış ve mevcut sıva malzemeleri ile karşılaştırılmış.

En iyi sonuçları veren karışım oranında üretilen malzemenin ısı iletkenlik değeri 0,17 W/m²K ve mukavemet değeri 61,44 kg/cm² çıkmış. Katkılı ürün, kontrol grubu (piyasadaki sıva malzemesi) ile karşılaştırıldığında ısı geçirgenlik direnci %26, mukavemet değeri %31 oranında artmış. Bu çalışma ile çevre dostu yeni sıva malzemesi geliştirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma Ekim 2012 – Haziran 2014 tarihleri arasında Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Yapı sektöründeki teknolojik gelişmeler ve dünyamızda azalmaya başlayan doğal kaynakları daha az tüketmeye yönelik çevreci hareketlerin büyümesi, bizi de araştırma konusu seçiminde atıkları değerlendirmeye ve üretimde bütçeyi korumaya yöneltmiştir.

Bu amaç doğrultusunda, yapı malzemesi olarak kullanılabilen bitkisel atıklar araştırılmış ardından yaşadığımız yerin değerlendirilebilecek durumda olan atıkları araştırılmıştır.

Sebze üretimi için çok verimli olmayan Çorum, özellikle pirinç üretimi açısından ülkemizde başı çeken şehirlerimizden biridir. Hammadde eldesinde Çorum-Osmancık ilçesi pirinci, ulaşılması kolay olduğundan ve işlemimize tabi tutulmadan önce pirinç kabuğu yakıt olarak kullanılabilirdiğinden seçilmiş ve pirinç kabuğunun yanı sıra şehrimizde bulunan Hayat Kağıt Fabrikasından oluklu mukavva atık lifleri temin edilmiştir.

Deneylerimizde kullandığımız, Osmancık-97 olarak adlandırılan pirinç kabukları, öncelikle, yakıldıklarında kül haline geldiğinde kapladıkları alan büyük ölçüde küçüldüğü için depolanma sorununu bir kademe azaltmıştır. Aynı zamanda çamur olarak kalan atık kağıt lifleri de çevre temizliğine etkisi açısından tercihimizin doğru olduğunun bir kanıtıdır.

Yukarıda belirttiğimiz gibi pirinç kabukları yakılmak, atık kağıt lifleri de kurutulmak suretiyle deneylerimizde değerlendirilmiş endüstriyel atıklar olarak kullanılmıştır.

Yapılarda kullanılan sıva malzemesine katkı maddesi olarak eklenen atıklarımız, harç hammaddesi çimento ile ağırlıkça yer değiştirdiği için sıva malzemesi ekonomik hale gelmektedir.

Kullanmış olduğumuz numunelerin kodları ve isimleri Çizelge 3.1’de, Kullanılan malzemelerin isimleri Çizelge 3.2’de, kullanılan araç-gereç ve cihazların isimleri Çizelge 3.3’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Numune kodları ve isimleri

Numune kodu	Numune adı
N1	Referans
N2	Referans
N3	%2’lik atık kağıt
N4	%2’lik atık kağıt
N5	%4’lük atık kağıt
N6	%4’lük atık kağıt
N7	%6’lık atık kağıt
N8	%6’lık atık kağıt
N9	%6’lık atık kağıt
N10	%6’lık atık kağıt
N11	%10’luk pirinç kabuğu külü
N12	%10’luk pirinç kabuğu külü
N13	%15’lik pirinç kabuğu külü
N14	%15’lik pirinç kabuğu külü
N15	%20’lik pirinç kabuğu külü
N16	%25’lik pirinç kabuğu külü
N17	%30’luk pirinç kabuğu külü

Çizelge 3.2. Kullanılan malzemeler

	Malzeme adı	
1.	Pirinç kabuğu külü	Osmancık-97 pirinci
2.	Atık kağıt lifi	Hayat kağıt Çorum
3.	Çimento	
4.	Agrega	$D \leq 4$ ve $d=0$ mm
5.	Su	
6.	Renklendirici	Mavi, bordo, Universal, toz boya

Çizelge 3.3. Kullanılan araç-gereç ve cihazlar

	Araç-gereçler	Cihazlar
1.	Tutuşturucu	Hassas terazi
2.	Karıştırma kabı	XRD
3.	Karıştırıcı	3 nokta basma test cihazı
4.	Sarsaklı elek takımı	XRF
5.	Mala	
6.	Beher	
7.	200x200x15 mm kalıplar	
8.	300x300x15 mm kalıplar	
9.	40x40x15 mm kalıplar	

3.2. Yöntem

Çalışmamızda daha önceden de belirttiğimiz gibi daha ekonomik olması için ve çevresel atıkları değerlendirmek amaçlı, Çizelge 3.4 de görülen, katkısız sıva bünyesi, endüstriyel atıklarımız kullanılarak yeni bir forma dönüştürülmüştür.

Endüstriyel atık olarak isimlendirmiş olduğumuz, depolama sorunu yaşadığımız pirinç kabuğu ve selülozik açıdan zengin olan, atıl olarak kalan atık kağıt lifleri, literatür verilerine uygun olarak deneylere tabi tutulmuştur.

Sıva harcı hazırlanırken, atıklarımızla kütleli olarak orantılı çimento yer değiştirilmiştir.

Aşağıda yapılan çalışmalar adım adım sıralanmıştır.

Çizelge 3.4. TS-EN 12808-3 standardına göre katkısız sıva bünyesi

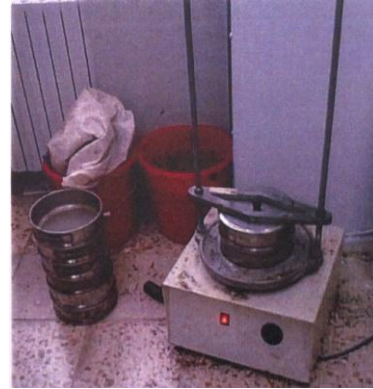
	Çimento	Selüloz	Polimer	Kireç	Kum(3mm)
Ağırlıkça yüzde miktarı	25,0	0,20	1,0	3,0	70,8

3.2.1. Atık kağıt lifi içeren sıva harcı ve numunenin hazırlanması

Atık kağıt lifleri içeren sıva harcı hazırlanması için, %5 kuru madde içeren Çorum Hayat Kağıt Fabrikasından alınan oluklu mukavva üretimi atık ürünü olan kısa saplı lifler kurutulmuştur. Kurutulan lifler istenilen boyutlara getirilmek için öğütücüde öğütülmüş ve elekten geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Resim 3.1. Elek



Resim 3.2. Sarsaklı elek takımı

%2, %4 ve %6 oranlarında atık kağıt lifi içeren numuneler Çizelge 3.5’de görüldüğü oranlarda karıştırılarak hazırlanmış, bu numunelerin basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiştir.

Hazırlanan harçlarda gerekli boyuta getirilmek amaçlı elenen agrega miktarı sabit tutularak, çimento ve atık kağıt belirlenen oranlarda değiştirilmiş, su karışımının emiciliğine göre arttırılmıştır.

Karışımın homojen bir dağılıma sahip olabilmesi için hazırlanan sıva harcı karıştırıcıda 10 dakika süreyle karıştırılmıştır.



Resim 3.3. Karıştırıcı

Çizelge 3.5. Atık kağıt lifi içeren beton numuneleri karışım oranları

Atık kağıt oranı (%)	Çimento (g)	Atık kağıt (g)	Agrega (g)	Su (ml)
Referans	2000	0	7200	2000
2	1960	40	7200	2550
4	1920	80	7200	3100
6	1880	120	7200	3700

Hazırlanan harç Resim 3.4’de görülen 200x200x15 mm, 300x300x15 mm ve Resim 3.5’de görülen 40x40x160 mm kalıplara döküldü.



Resim 3.4. Katkısız (referans) ve %10 pirinç kabuğu külü, %2 atık kağıt lifi içeren Numuneler



Resim 3.5. %4 atık kağıt lifi içeren kalın dökümler

Kalıplar pürüzsüz yatay bir zemin üzerine hazırlanan düzenek halinde hazırlandı ve numuneler döküldü. Dökülen numuneler düzenli aralıklarla sulanıp nemli tutularak (çatlamayı önlemek amaçlı) 7, 14 ve 28 gün boyunca bekletildi.

3.2.2. Pirinç kabuğu külü içeren sıva harcı ve numunelerinin hazırlanması

Pirinç kabuğu külü içeren sıva harcı hazırlanması için, Çorum'un Kargı ilçesinin Hacıhamza beldesinden alınan pirinç kabukları yakılıp kül haline getirilmiştir.

%10, %15, %20, %25, %30 oranlarında pirinç kabuğu külü oranı içeren numuneler hazırlanmış, bu numunelerin basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiş, XRD ve XRF analizleri, su tutma, renklendirme ve basma deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 3.6, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de numunelerin karışım oranları görülmektedir.

Çizelge 3.6. (200x200x15) Birim hacim karışım oranları

Çimento (g)	Kül oranı (%)	Kül (g)	Agrega (g)	Su (ml)
250	0 (referans)	0	950	135
225	10	25	950	155
212	15	38	950	168
200	20	50	950	180
188	25	62	950	192
175	30	75	950	204

Çizelge 3.7. (300x300x15) Birim hacim karışım onları

Çimento (g)	Kül Oranı (%)	Kül (g)	Agrega (g)	Su (ml)
560	0 (referans)	0	2135	300
505	10	55	2135	350
475	15	85	2135	380
450	20	110	2135	405
420	25	140	2135	435
390	30	170	2135	460

Çizelge 3.8. (40x40x15) Birim hacim karışım oranları

Çimento (g)	Kül Oranı (%)	Kül (g)	Agrega (g)	Su (ml)
110	0 (referans)	0	405	55
99	10	11	405	65
94	15	16	405	75
88	20	22	405	85
82	25	28	405	95
77	30	33	405	100

Öncelikle tedarik eldin pirinç kabuklarının, direk ateşe maruz bırakılmak koşuluyla tamamen yanmaları sağlanmıştır.

Kül haline gelen pirinç kabukları 1 gün soğumaya bırakılmıştır. Soğumuş olan ve kül haline gelen kabuklar el yardımı ile ufalanarak toz haline getirilmiştir.



Resim 3.6. Pirinç kabuğu



Resim 3.7. Pirinç kabuğu külü

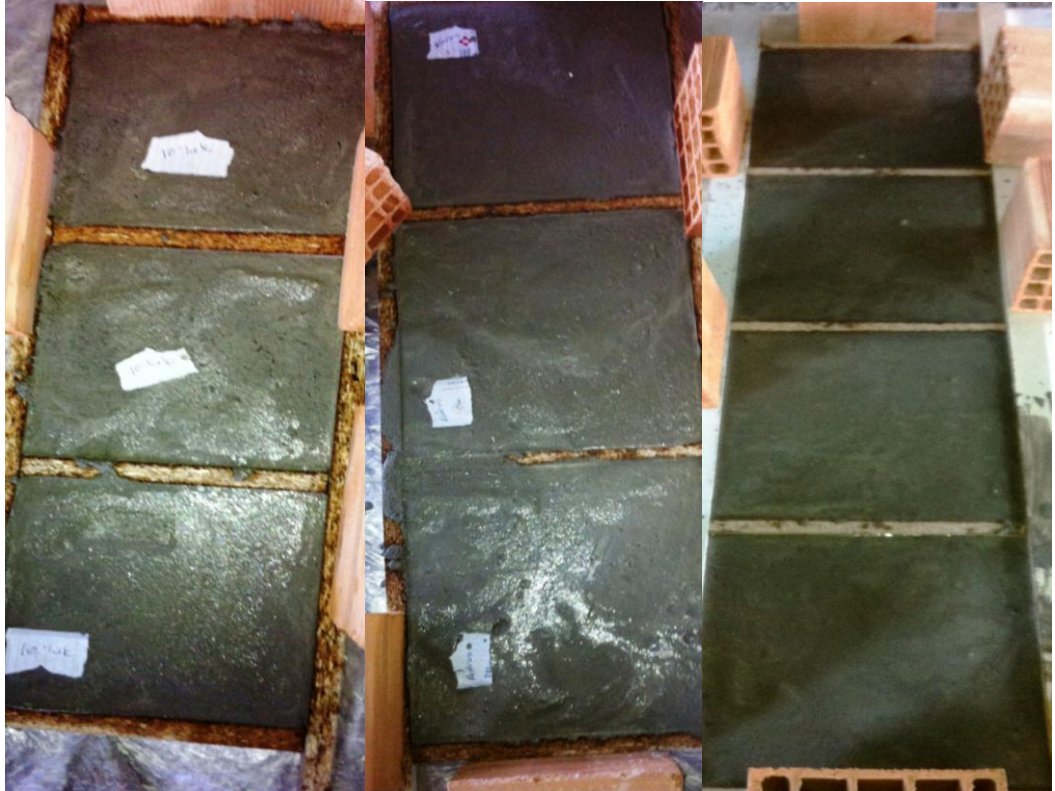
Hazırlanan harçlarda, eşit boyutlarda olması için elenen agrega miktarı sabit tutularak, çimento ve pirinç kabuğu külü belirlenen oranlarda değiştirilmiş, su, karışımın emiciliğine göre arttırılmıştır. Hazırlanan harç kalıplara dökülmüştür.



Resim 3.8. Agreganın elenmesi



Resim 3.9 Karışımın hazırlanması



Resim 3.10. %15 oranında pirinç kabuğu külü içeren ve katkısız numuneler



Resim 3.11. %20, 25 ve 30 oranında pirinç kabuğu külü içeren numuneler



Resim 3.12. %15 ve 20 oranında pirinç kabuğu külü içeren renkli ve normal numuneler



Resim 3.13. Pirinç kabuğu külü içeren karma numuneler

3.2.3. Pirinç kabuğu külü içeren karışımların renklendirilmesi

Karışımların çizelge gösterilen oranlarda hazırlanmasının ardından %30, %25, %20 ve %15 oranında pirinç kabuğu külü içeren kısımlarından birkaç kalıplık ayrılmış, bunlara mavi ve pembe renklendirici eklenmiştir. Orantılı bir karıştırma işleminden sonra rutin dökme işlemi yapılmış ve diğer numunelerle kurumaya bırakılmıştır. Resim 3.12 ve Resim 3.13’de dökümü yapılmış numuneler görülebilmektedir.

3.2.4. Pirinç kabuğu külü içeren numunelerin su tutma deneyi

%15, %20, %25, %30 oranında pirinç kabuğu içeren numunelerden ve referans numunelerinden alınan parçalar, tartımları yapıp saf su içerisinde bekletilerek su tutma oranları gözlenmiştir. Çizelge 3.9’da numunelerin ilk tartımları ve sonraki 2 gün sonundaki tartımları verilmiştir.

Çizelge 3.9. Su tutma deneyi tartımları

	22.04.14/15:30	23.04.14/15:16	24.04.14/16:10
% oran	İlk tartım (g)	1. Gün (g)	2. Gün (g)
0 (referans)	450	520	520
15	400	479	480
20	59,43	71,59	71,89
25	20,68	26,23	26,38
30	29,91	39,21	39,32

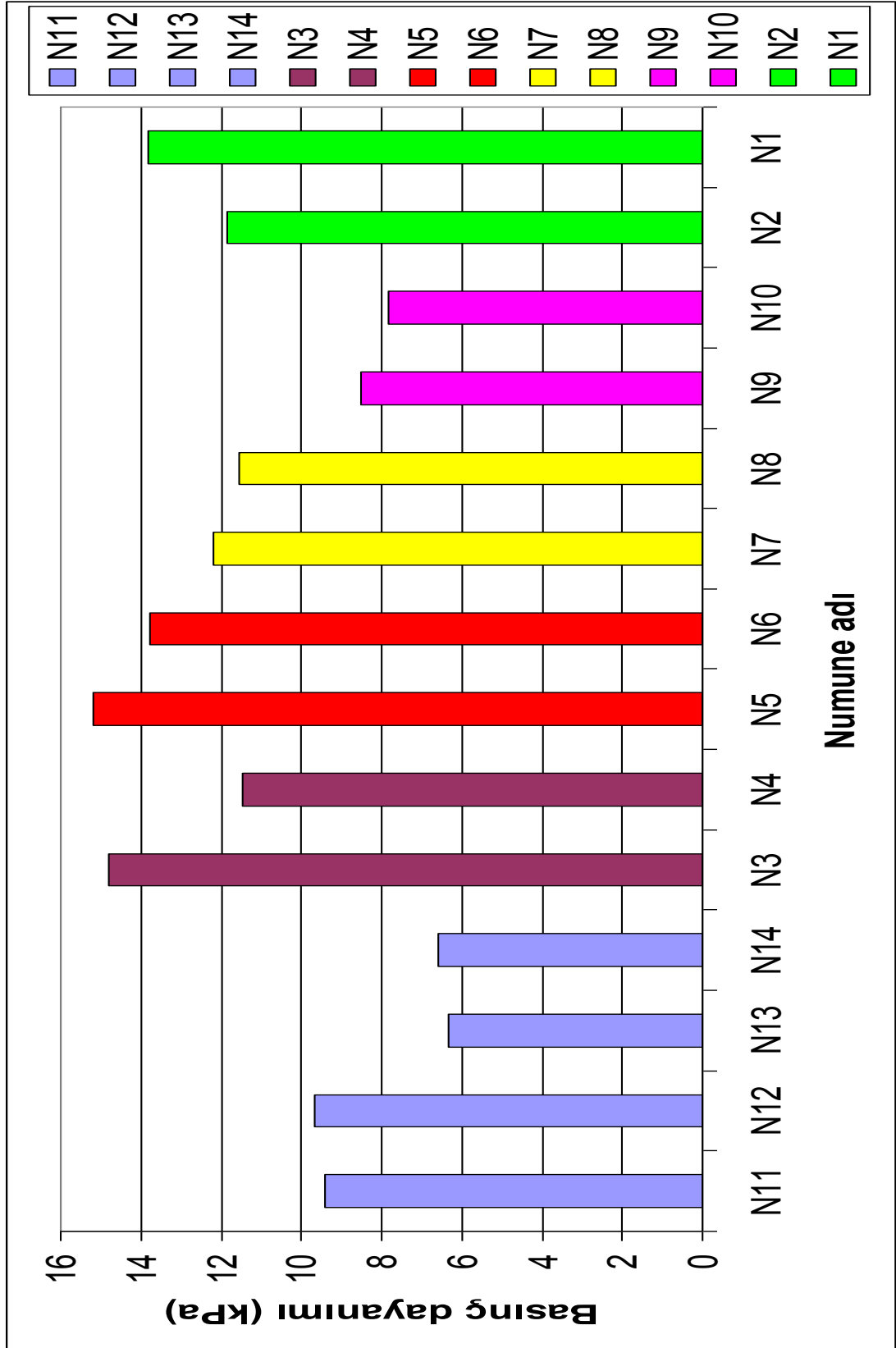
3.2.5. Numunelerin 3 nokta basma deneyi

Beton özellikleri genellikle direk olarak betonun basınç dayanımı ile ilgilidir. Betonun çekmeye dayanımı az olduğundan, daha çok basınca çalışılmaktadır.

Bu nedenle, betonun basınç dayanımı mühendislik uygulamalarında oldukça önemlidir (Erdoğan, T.Y., 1995). Değişik oranlardaki pirinç kabuğu külü ve atık kağıt lifi içeren numuneler hazırladığımız kalıplar halinde 3 nokta basma deneyine tabi tutulmuştur. Aşağıda Çizelge 3.10'da Hazırlanan numunelere ait basınç dayanımı sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.10. Hazırlanan numunelere ait basınç dayanımı

Numune adı	b (yükseklik)	T (genişlik)	Ring (Grafik tepe noktası)	F (kuvvet) (kgf)	Basınç dayanımı (kPa)
10 pk (N11)	39,12	39,92	133	42,0014	9,432176
10 pk (N12)	39,96	39,72	138	43,5804	9,677777
15 pk (N13)	38,2	39,7	86	27,1588	6,315304
15 pk (N14)	39,62	40,3	96	30,3168	6,596094
2 ak (N3)	41,78	39,82	222	70,1076	14,8157
2 ak (N4)	40	40,34	169	53,3702	11,47876
4 ak (N5)	39,1	40,1	216	68,2128	15,18897
4 ak (N6)	39,22	39,92	195	61,581	13,79387
6 ak (N7)	39,8	39,9	175	55,265	12,21095
6 ak (N8)	39,22	40	164	51,7912	11,55464
6 ak (N10)	40,3	40	114	36,0012	7,816638
6 ak (N9)	39,7	40,1	123	38,8434	8,518557
Ref (N1)	39,12	40,92	205	64,739	13,83643
Ref (N2)	39,82	40,12	172	54,3176	11,86439



Şekil 3.1. 3 nokta basma deneyi grafiği

3.2.6. Hammadde ve numunelerin XRF analizi

Hammaddeler ve farklı yüzdelerde hazırlanan numuneler kuru olarak hazırlandıktan sonra her partiyi temsilen analiz için paketlenmiştir. Agregas, çimento ve pirinç kabuğu külü, %10, %20 ve %30'luk numunelerin her birinden üçer farklı XRF analizi ikişer tekrar olarak yapılmış olup ortalama değerler kullanılmıştır. Yapılan XRF analizleri, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O dir. Yapılan analizler çimento içeriğinde bulunan bileşenlerin kullanılan hammadde ve karışımlardaki durumlarını bize net olarak göstermesi amacıyla yapılmıştır. Si, Al, Fe ve Ca'nın oksit bileşenlerini belirlemek amaçlı yapılan analizlerde Çizelge 3.11'de görülen numuneler için analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.11. XRF numune kodları

NUMUNE ADI	NUMUNE KODU
%10 PK	N1
%20 PK	N2
%30 PK	N3
AGREGA	N4
PIRİNÇ KABUĞU KÜLÜ (PK)	N5
ÇİMENTO	N6

Şekil 3.2-Şekil 3.7 arasında örnek bir takım XRF analiz sonuçları görülmektedir. Benzer şekilde her bir kod için 3 farklı örnek analizlenmiştir. Ayrıca her bir örnek 2 defa analizlenerek ortalamalar kullanılmıştır.

Task/Program:	CIMENTOZ/FLUXHAM										
Date and Time of Analysis:	09.07.2014 10:12:30										
Type of Analysis:	Concentration Analysis										
Number of Repeats:	2										
Cassette Number:	+										
Numune ADI :	N1 %10 FK					Numune NO :	200.200,15				
OPERATOR :											

Run	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	N2O	K2O	LOI	TOPLAM	
Avg	5.57	1.22	0.91	54.88	0.55	0.45	-0.08	0.24	36.25	97.78	
Sd	0.03	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Sd%	0.48	1.21	0.23	0.08	0.38	0.11	-0.45	0.82	0.00	0.01	
	LSF	SM	AM								
Avg	311.90	2.62	1.35								
Sd	1.86	0.00	0.02								
Sd%	0.60	0.11	1.44								

Şekil 3.2. N1 %10 piriç kabuğu külü XRF analiz çıktısı

Task/Program:	CIMENTOZ/FLUXHAM.									
Date and Time of Analysis:	09.07.2014 10:23:46									
Type of Analysis:	Concentration Analysis									
Number of Repeats:	2									
Cassette Number:	+									
Numune ADI :	N4 %20 EK				Numune NO :	200,200,15				
OPERATOR :										

Run	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	N=20	K2O	LOI	TOPLAM

Avg	6.47	1.07	0.84	52.23	0.53	0.36	-0.05	0.32	38.23	99.80
St	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
St%	0.38	0.30	0.58	0.04	5.18	1.05	-24.71	0.39	0.00	0.00
	LSF	SM	AM							
Avg	261.98	3.39	1.28							
St	1.11	0.00	0.00							
St%	0.42	0.05	0.28							

Şekil 3.3. N2 %20 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı

Task/Program:	CIMENTÖZ/FLUXHAM									
Date and Time of Analysis:	09.07.2014 10:37:08									
Type of Analysis:	Concentration Analysis									
Number of Repeats:	2									
Cassette Number:	+									
MUMUNE ADI :	MS	530	PK	TARİH :	300,300,15					
OPERATOR :										
Run	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	N2O	K2O	LOI	TOPLAM
Avg	8.01	1.03	0.81	51.17	0.52	0.33	-0.06	0.43	37.76	98.66
	LSF	SM	AM							
Avg	211.87	4.36	1.28							

Şekil 3.4. N3 %30 Pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı

Type of Analysis:	Concentration Analysis										
Number of Repeats:	2										
Cassette Number:	+										
NUMUNE ADI :	N10 10 GR.					TARİH :					AGREGA
OPERATOR :											

Run	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	LOI	TOPLAM	
Avg	1.30	0.60	0.65	59.77	0.37	0.03	-0.11	0.04	37.35	96.75	
	LSF	SM	AM								
Avg	1253.36	1.04	0.92								

Şekil 3.5. N4 agrega XRF analiz çıktısı

Task/Program:	CIMENTÖZ/FLUKHAN										
Date and Time of Analysis:	09.07.2014 10:48:26										
Type of Analysis:	Concentration Analysis										
Number of Repeats:	2										
Cassette Number:	+										
NUMUNE ADI :	N12 PRINC					TARİH :					KABUĞU KÜLÜ
OPERATOR :											

Run	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	LOI	TOPLAM	
Avg	78.78	0.41	0.71	0.78	0.15	0.04	-0.08	4.47	14.75	100.49	
	LSF	SM	AM								
Avg	0.35	70.35	0.57								

Şekil 3.6. N5 pirinç kabuğu külü XRF analiz çıktısı

Task/Program:	CIMENTOS/FLUKKLIN										
Date and Time of Analysis:	09.07.2014 10:52:14										
Type of Analysis:	Concentration Analysis										
Number of Repeats:	2										
Cassette Number:	+										
MUMUNE ADI :	M13 10 GR					TARİH :					CIMENTO
OPERATOR :											
Run	SiO2	AL2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	N=2O	K2O	LOI	TOPLAM	
Avg	15.72	3.99	2.27	58.76	1.54	2.36	0.07	0.54	14.75	93.02	
	LSF	SM	AM	C3S	C2S	C3A	C4AF				
Avg	117.06	2.51	1.76	89.30	-18.82	7.27	7.44				

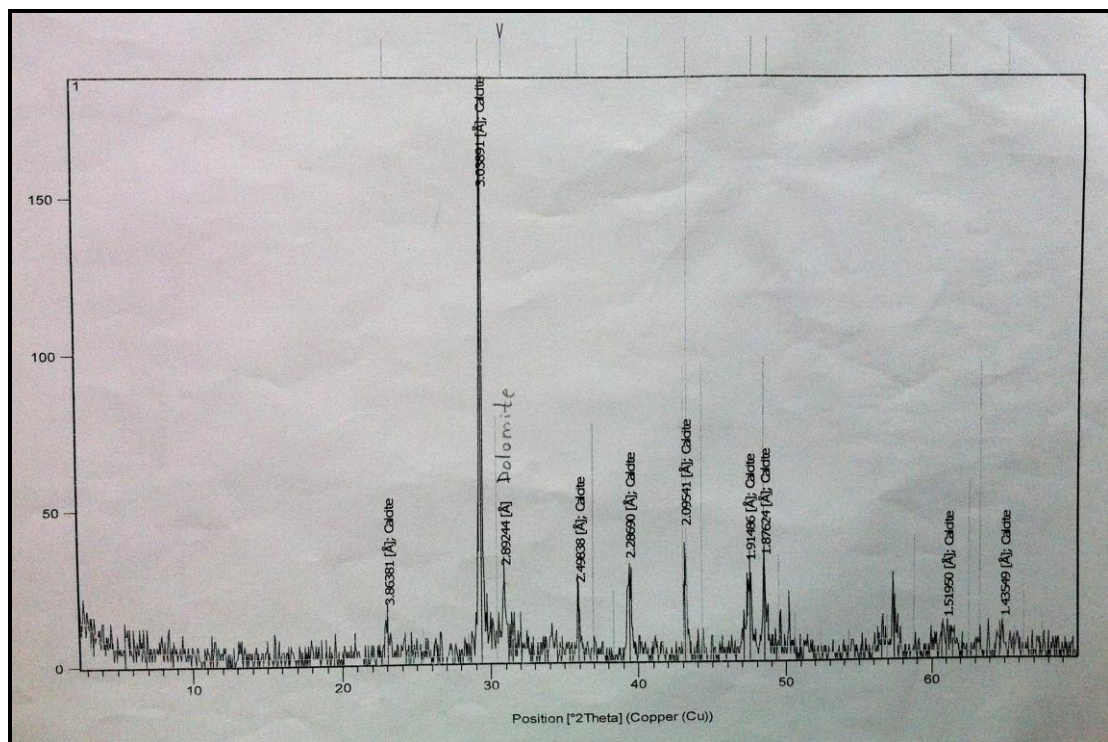
Şekil 3.7. N6 çimento XRF analiz çıktısı

3.2.7. Numunelerin XRD analizi

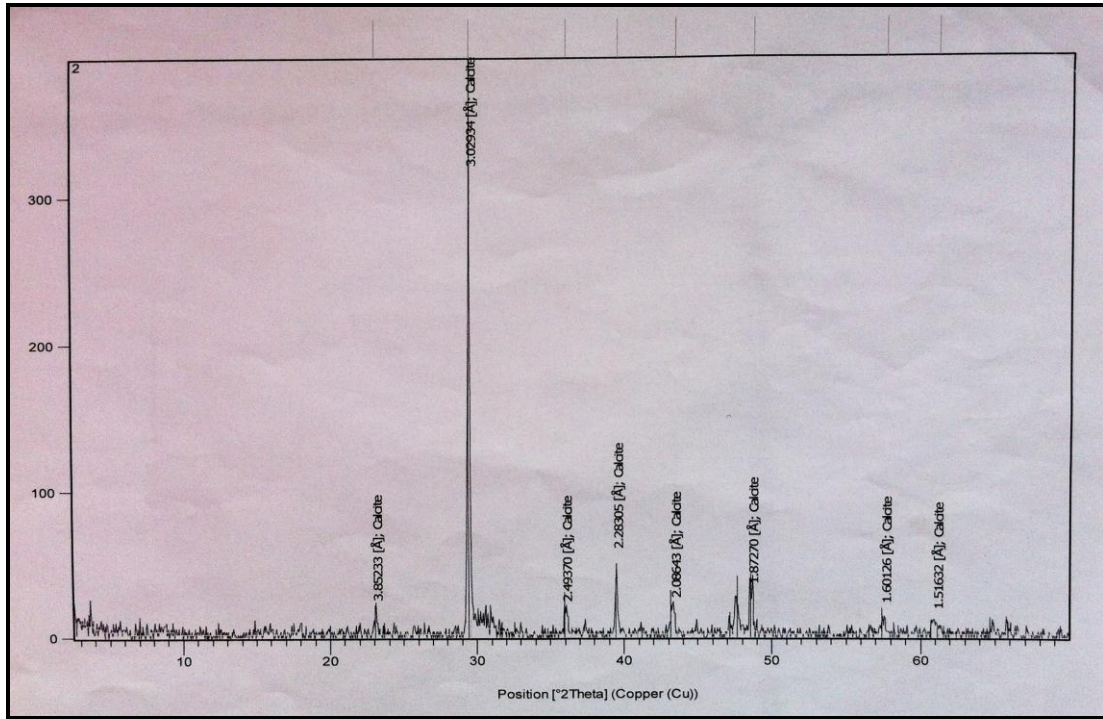
Bir takım numune hazırlanıp Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında XRD analizine tabi tutulmak üzere yollandı. Burada numuneler Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihazlar ile 2-70 derece arasında analiz edilmiş, elde edilen X-ışın difraktogramları ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır. Aşağıda her numune için analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.12. XRD numune kodları

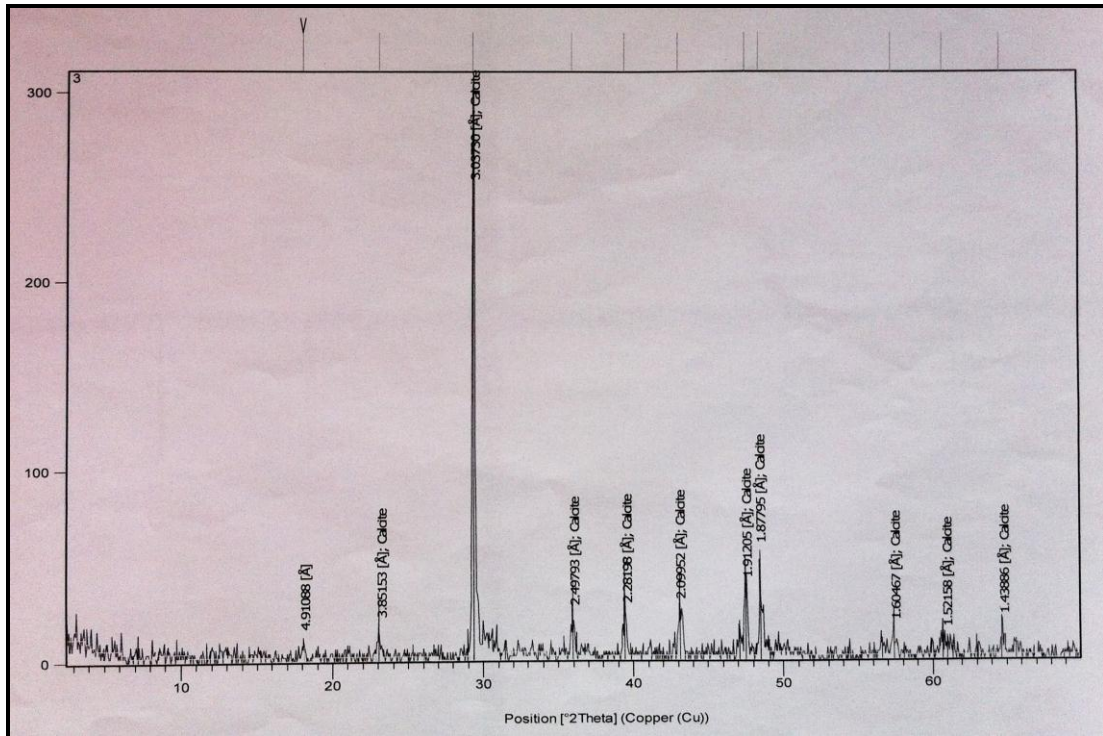
Numune kodu	Numune içeriği
Nu.1	%0 (referans)
Nu.2	%25 pirinç kabuğu külü
Nu.3	%10 pirinç kabuğu külü
Nu.4	%20 pirinç kabuğu külü, renklendirici
Nu.5	%30 pirinç kabuğu külü
Nu.6	%10 pirinç kabuğu külü
Nu.7	%0 (referans)
Nu.8	%15 pirinç kabuğu külü



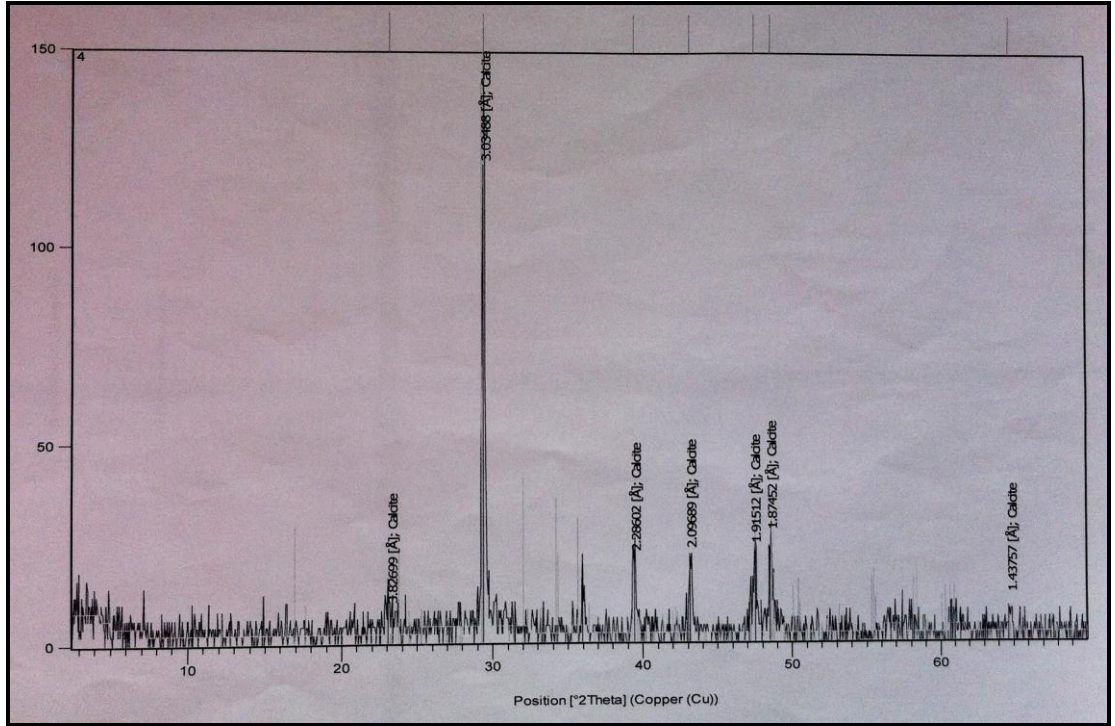
Şekil 3.8. Nu.1. katkısız numune XRD analiz grafiği



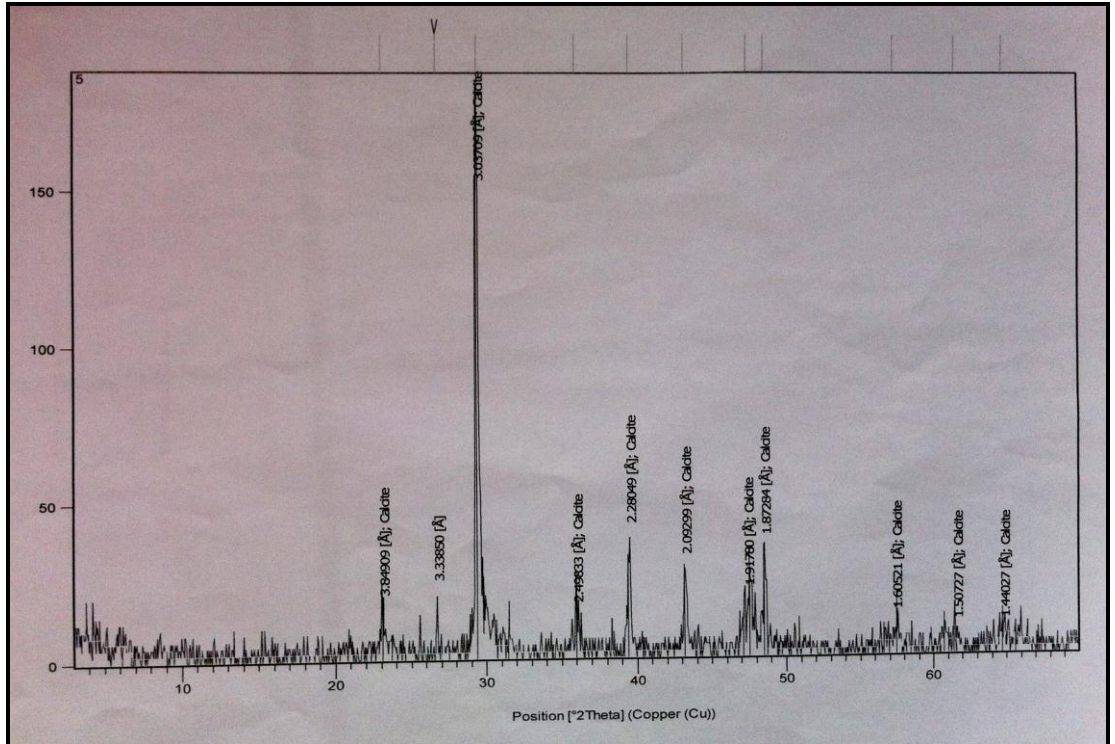
Şekil 3.9. Nu.2, %25 küllü numune XRD analiz grafiği



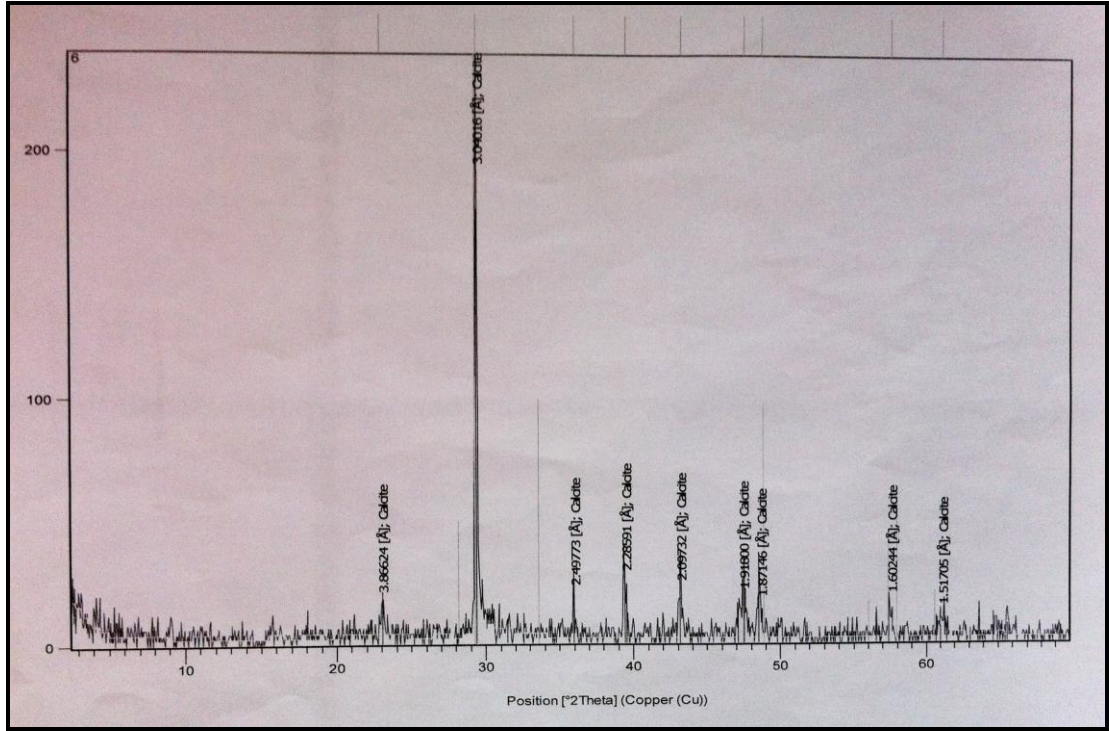
Şekil 3.10. Nu.3, %10 küllü numune XRD analiz grafiği



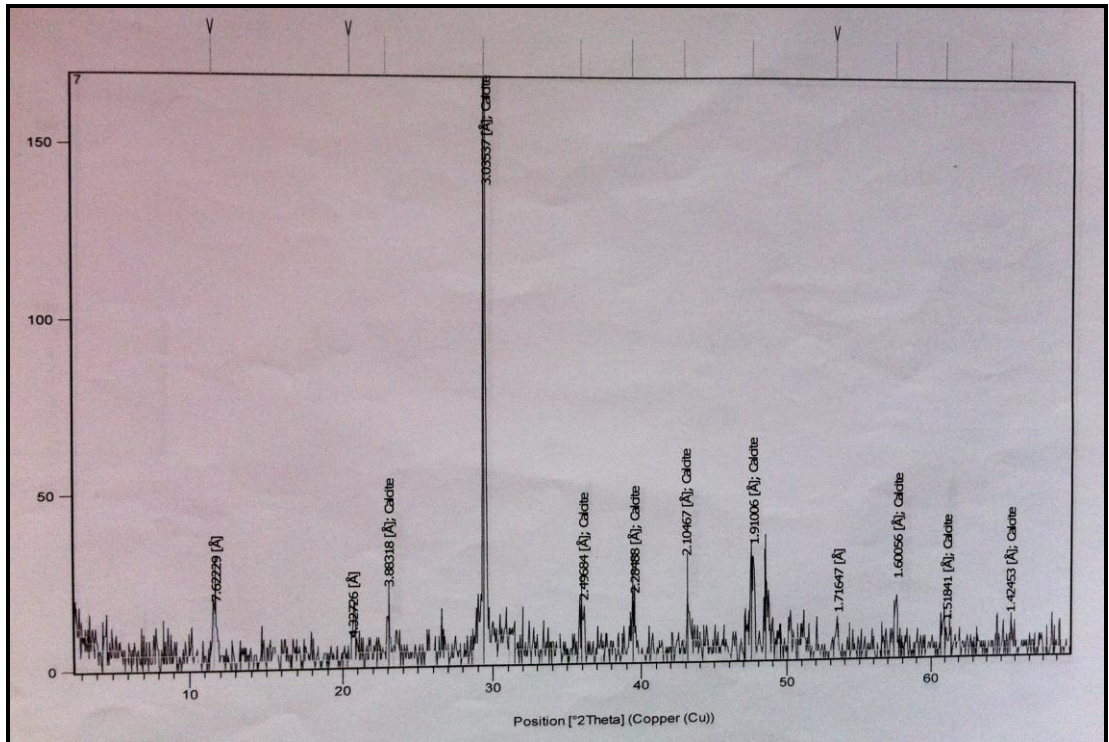
Şekil 3.11. Nu.4, %20 küllü numune XRD analiz grafiği



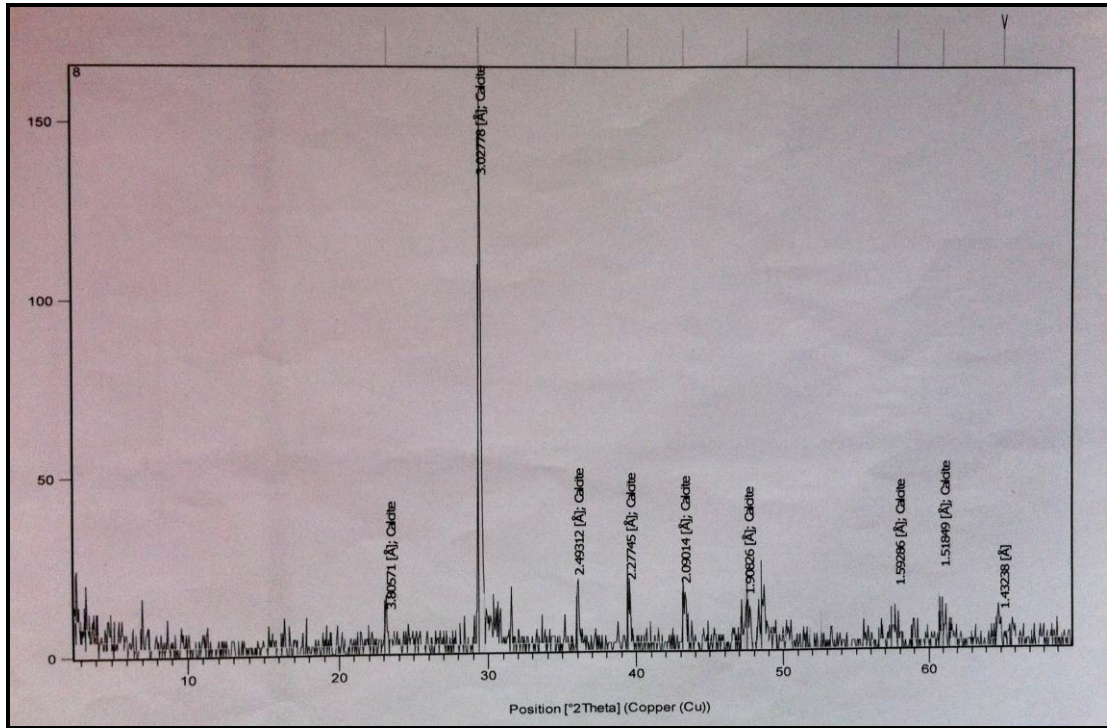
Şekil 3.12. Nu.5, %30 küllü numune XRD analiz grafiği



Şekil 3.13. Nu.6, %10 küllü numune XRD analiz grafiği



Şekil 3.14. Nu.7, katkısız numune XRD analiz grafiği



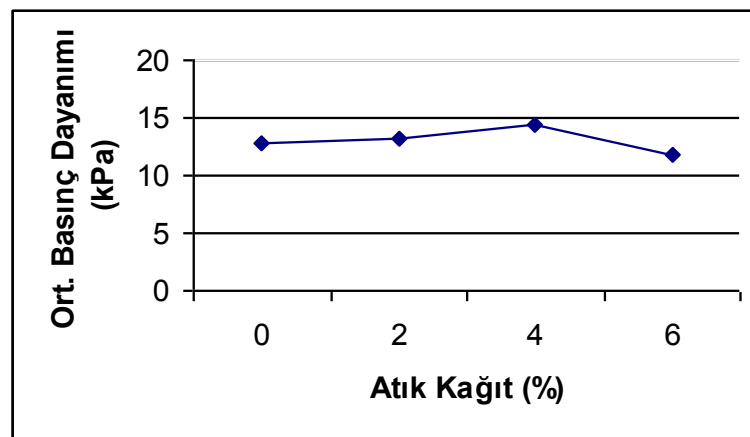
Şekil 3.15. Nu.8, %15 küllü numune XRD analiz grafiği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Basma Deneyi

Çizelge 4.1. Atık kağıt- ortalama basınç dayanımı tablosu

	Atık Kağıt (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (kPa)
N1-N2	0	12,85040925
N3-N4	2	13,1472317
N5-N6	4	14,49142133
N7-N8	6	11,88279375



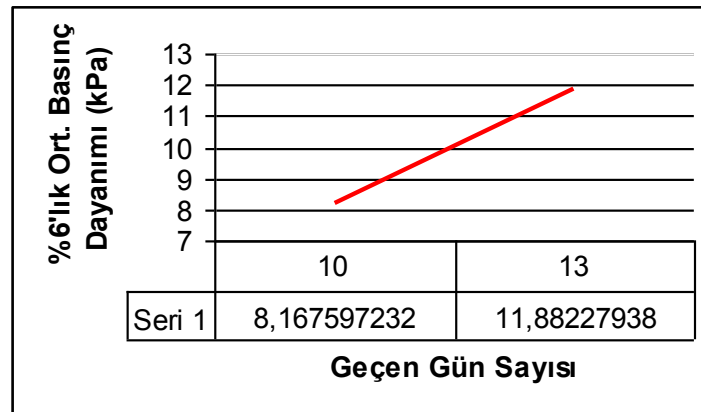
Şekil 4.1 Atık kağıt lifi içeren numunelerin ortalama basınç dayanımları grafiği

Zamanın basınç dayanımına etkisini incelemek için %6'lık atık kağıt katkılı harçlardan farklı günlerde 2 ayrı döküm yapılmıştır. 1. ve 2. dökümlerinin basınç dayanımları Çizelge 4.2'de görülmektedir.

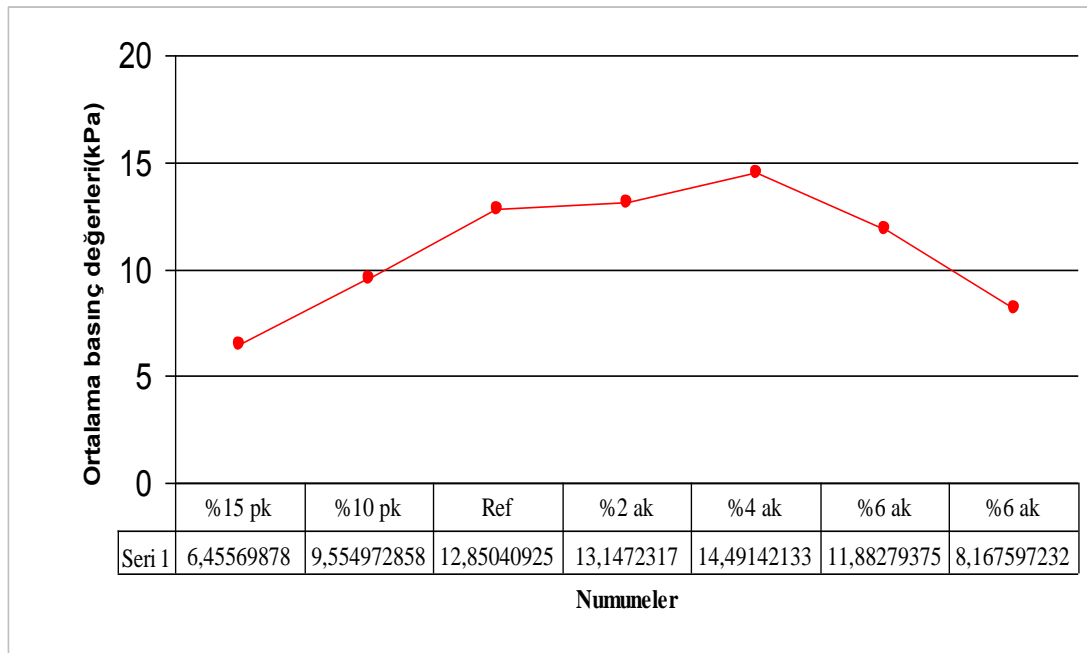
Çizelge 4.2. %6'lık Atık Kağıtların basınç dayanımları

Numune Adı	Döküm Tarihi	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Kuvvet (kgf)	Basınç Dayanımı (kPa)
%6 Atık kağıt (N7)	02.01.2013	39,9	39,8	55,265	12,21094701
%6 Atık kağıt (N8)	02.01.2013	40	39,2	51,7912	11,55464049
%6 Atık kağıt (N9)	05.01.2013	40,1	39,7	38,8434	8,518556746
%6 Atık kağıt (N10)	05.01.2013	40	40,3	36,0012	7,816637717

Şekil 4.2'de %6'lık atık kağıt katkılı çimentoların 1. ve 2. dökümlerinin günlük basınç dayanımlarına göre grafiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlarda numunelerimizin standart çimentoya göre basınç dayanımlarının düşük olduğu ancak zamanla arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.2. %6'lık Atık kağıt numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi



Şekil 4.3. Numunelerin ortalama basınç dayanımı grafiği

Yukarıda grafikte de görüldüğü üzere katkısız olan referans numunemize kıyasla %10 pirinç kabuğu külü ve %2 atık kağıt lifi katkılı numunelerimiz standart numunenin basınç dayanımına daha yakındır.

Pirinç kabuğu külü ve atık kağıt lifi kendi aralarında kıyaslandığında ise atık kağıt lifi içeren numunelerin basınç dayanımı standart numuneninkine daha yakındır.

4.2. Pirinç Kabuğu Külü Katkılı Numunelerin Su Tutma Deneyi

Çizelge 4.3. Katkılı numunelerin su tutma yüzdeleri

Numunelerin katkı oranları (%)	1. Tartım su tutma yüzdeleri	2. Tartım su tutma yüzdeleri
ref	%13	%0
15	%16	%0,21
20	%17	%0,42
25	%21	%0,57
30	%23	%0,28

Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi su tutma oranları numunelerin katkı oranları arttıkça artmıştır. Numunelerimizi hazırlarken takip ettiğimiz yöntemde de su oranları katkı malzemesi miktarı arttıkça arttırılmıştır.

2. tartım yüzdelere baktığımızda ise numunelerin su tutma kapasitelerinin 2. günün sonunda, doygunluğa ulaştığı görülmektedir.

4.3. Numunelerin XRD Analizi

XRD analiz grafiklerine göre, katkılı numunelerimizin referans numunelere göre mineralojik yapılarında dikkat çekici bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir. Sıva harcının karışım elemanlarından biri olan çimento, göz önüne alındığında ana hammaddelerinden birisi kalkerdir. Kireçtaşı olarak da adlandırılan kalkerin kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO_3 yani kalsit bulunmaktadır. Ayrıca CaO , MgO , gibi alkalin ögeler ve SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi hidrolik ögelerden oluşur. Sonuçlarımıza baktığımızda katkılı numunelerin yapılarında da kalsit harici bir şey çıkmamıştır.

Katkı malzemelerimizin ayrı ayrı mineralojik yapıları incelendiğinde pirinç kabuğu külünün SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O ve MnO , kağının ise CaCO_3 , kaolin ve talk gibi kimyasal maddeler içerdiği bilinmektedir. Analizle beraber uyumluluğun olduğu ispat edilmiştir.

4.4. Numunelerin Renklendirilmesi

Daha önceden belirlemiş olduğumuz numunelerimiz toz boya ile renklendirilerek, XRD analizine tabi tutulmuş ve renklendirme işleminin yapısal bir değişiklik yapmadığı, görünüm açısından göze hitap eden bir forma dönüştüğü görülmüştür.

4.5. Numunelerin XRF Analizi

Analizi yapılan pirinç kabuğu külü içeren karışımların değerlerinin ortalamasının alınmasının ardından elde edilen tablo aşağıda Çizelge 4.4’de verilmiştir. Sırasıyla %10, %20 ve %30 pirinç kabuğu külü içeren karışımlar, N1, N2 ve N3, standart çimento numunesi olan N6 ile karşılaştırıldığında %10 pirinç kabuğu külü içeren karışımımızın, standarda daha yakın olduğu gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 4.4. Numunelerin XRF analiz değerleri

Numune Kodu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
N1	5,36	1,18	0,88	54,28	0,56	0,45	0,23
N2	6,17	1,05	27,88	52,98	0,51	0,34	0,31
N3	8,23	1,03	0,82	51,23	0,50	0,31	0,44
N4	1,30	0,60	0,65	59,77	0,37	0,03	0,04
N5	78,78	0,41	0,71	0,78	0,15	0,04	4,47
N6	15,72	3,99	2,27	58,76	1,54	2,36	0,54

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekonomiye katkı sağlaması ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla, katkılı sıva harcı üretimi için yapılan araştırmamızın sonucunda, pirinç kabuğu külü ve atık kağıt lifi içeren sıva malzemelerinin geliştirilerek kullanılabilceği görülmüştür.

Çalışmamızda Karayollarından temin ettiğimiz agregaların partikül çapı 3 mm olup elenerek 1mm çapında eş boyutlu hale getirilmiştir. Yakılma ardından oluşan pirinç kabuğu külü toz halindedir ve fabrikadan aldığımız atık kağıt çamuru da kurutma ve öğütme işlemlerinden sonra elenerek agrega ile aynı boyuta getirilmiştir. Elde etmiş olduğumuz agrega boyutu “mil kum ve 0-3 kum” standartlarındadır.

Malzemelerimizden oluşan harcımız ince ve kalın sıva yapımına uygundur. Kıvam sağlayıcı (kayganlaştırıcı) olarak kullandığımız su, sahada çalışan ustalarla miktarı ayarlanmış, miktarının değişimi ile malzemenin uygulanabilirliğinin değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu durumun hava koşullarına bağlılığı da görülmüştür (sıcaklık, nem yağış vb.). Sıcaklığın artmasıyla su ihtiyacı artmış, nem ve yağışın artmasıyla bu oran azalmıştır. Bu uygulamanın da prüzlenme süresini etkilediği belirlenmiştir.

Kullandığımız katkı maddeleri, standart agrega-çimento-su karışımının sahip olduğu gözenekli yapıyı doldurarak boşlukları önemli derecede azaltır bunun sonucunda geçirimsizliği azaltır ve buna bağlı olarak dayanımı artırır. Ancak araştırma sonuçlarında da gördüğümüz gibi katkı maddelerinin fazla miktarda kullanılması da dayanımı olumsuz etkilemektedir.

Katkı maddeleri kıyaslandığında, atık kağıt lifi içeren numunelerin referans numunelere, yani standartlara daha yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. Katkı oranlarında değişikliğe gidilmesi ve yardımcı elemanların kullanılması ile standartlara yaklaşım değişkenlik gösterebilir.

Ayrıca atık kağıt liflerinin ve pirinç kabuğu külünün aynı anda katkı malzemesi olarak kullanılması ile üretilen numuneler de araştırmaya tabi tutulup, standartlara uygunluk gösterip göstermeyeceğine bakılabilir. Ayrıca saman ve pirinç kabuğunun direk kullanımı da sıva yapımında uygundur.

Atık kağıt katkılarının iç cephe sıvası, pirinç kabuğu külünün dış cephe sıvası olarak kullanımı uygundur.

Katkı maddelerinin yüksek su emme gücünden dolayı karışımlar kuru kalabilmektedir. Geliştirilen çalışmalarda kıvamı ayarlayabilmek amaçlı süper akışkanlaştırıcı kullanımı önerilebilir.

Yapılan literatür araştırmalarında, deneysel yöntemde betonların klor etkisine karşı direnci incelenmiş ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile pirinç kabuğu külü oranının artırılmasıyla betonların klor etkisine karşı direncinin arttığı ve beton geçirimsizliğinin iyileştiği buna dayalı olarak zamanla beton dayanımlarının arttığının ve süper akışkanlaştırıcı kullanımının önerilebildiği belirlenmiştir.

Yapılan deneylerde döküm sayısı artırılarak sapma azaltılır, daha net sonuçlar elde edilebilir. Testler için belirlenen bekleme süreleri artırılarak zamanla dayanımlarının kıyaslanması geliştirilebilir.

İlerleyen ve devam eden aşamalarda katkılı sıva numunelerinin asidik ortamlara karşı direnci incelenecek ve ısı ve ses yalıtımı için çalışmalar yapılacaktır.

Çalışmamızda yalnızca atık kağıt lifi ve pirinç kabuğu külü kullanılmıştır, pirinç kabuğu külü %78,78 SiO₂, %4,47 K₂O, %0,71 Fe₂O₃, %0,78 CaO ve %0,41 Al₂O₃ içeriyor olması bağlayıcı oranının yüksek olduğunu ve çimento yerine geçebilecek özellik gösterdiği üç nokta basma deneylerinden de görülmektedir. Endüstriyel atıkların dışında, sıva harcına katkı maddesi olarak kiremit tozu, perlit, pig tozu, karbon siyahı, demir talaşı, silis dumanı gibi malzemeler de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Alkhalaf, M.M., Yousiff, H.A., 1984. Use of rice husk ash in concrete. The International Journal Of Chemical Component And Light Weight Concrete, 6(4), 241-248.
- Anonim, 1996. Çöpün ekonomiye kazandırılması. T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara, 22.
- Anonim, 2004. Eco friendly flooring, <http://www.greenbuildingcenter.net/products/flooring/> (13.02.2014).
- Anonim, 2004. What is soybean insulation, <http://www.ecosafetyproducts.com/> (13.02.2014).
- Anonim, 2005. Cotton insulation, <http://www.builditgreen.org/attachments/wysiwyg/3/Cotton-Insulation.pdf> (07.12.2013).
- Anonim, 2008. Geri kazanım, <http://www.cevko.org.tr/cevko/IcSayfa/Tuketiciler/Neden-Geri-Kazanim-.aspx> (13.02.2014).
- Anonim, 2011. Cork, <http://www.wicanders.com/en/> (13.02.2014).
- Anonim, 2013. Kağıt endüstrisi, <http://www.slideshare.net/liveturk/kat-endstirisi> (07.12.2013).
- Balkabak, İ., Ürgüp, M.N., 1997. Çeltik kabuğu ve külünün çok amaçlı beton üretiminde değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 117-129.
- Batar T., Köksal N.S., Yersel Ş.E., 2009. Atık bor, atık kağıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu. Ekoloji Dergisi, 18, 45-53.
- Beycioğlu, A., Celalettin, B., Subaşı, S., 2008. Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması. Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Sorunları Sempozyumu, 14-17 Mayıs, Kocaeli, 1387-1394.
- Bidin, R., Ngee, C.C., Yeoh, A.K. ve Ping, C.B., 1984. Rice Husk Cement. Standards Industrial Research Institute of Malesia, Sirim.
- Bui, D.D., Hu, J., Stroeven, P., 2005. Partide size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded portland cement concrete. Cement and Concrete Composites, 27, 357-366.
- Byström, S., Lönnstedt L., 1997. Paper recycling: environmental and economic impact, resources. Conservation And Recycling, 21(2), 109-127.

- Chandrasekhar, S., Satyanarayana, K.G., Pramada, P.N., Raghavan, P., Gupta, T.N., 2003. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk- an overview. *Journal of Materials Science*, 38(15), 3159-3168.
- Chindaprasirt, P., ve Rukzon, S., 2008. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1601–1606.
- Cilason, N., 1992. Beton. STFA Yayınları, İstanbul.
- Cook, D.J., 1985. Rice-Husk Ash Cements: Their Development and Application, Vienna, Austria.
- Çağlayan, M., Haberveren S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., 1999. Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş “İston”. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 16, 69-79.
- Çavdar, A.D., Yel, H., Kalaycıoğlu, Uğur, A., 2011. Kağıt fabrikası arıtma suyu çamuru ile üretilen çimentolu yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri. I. Ulusal Akdeniz orman ve çevre sempozyumu, 26-28 Ekim, Kahramanmaraş, 69-73.
- Çelik, Ö., 2004. Uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur katkılarının çimento dayanımlarına etkileri. *Beton Kongresi*, 10-12 Haziran, İstanbul, 657-663.
- Daly, P., 2006. Lime hemp, mainstreaming bio composite construction, *Construct Ireland*, 3(3).
- Dass, A. 1983. Pozzolanic behavior of rice husk ash. *Building Research and Practice*, September-October. 12(5).
- Erdoğan, T.Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler-Agregalar. *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını*, Ankara.
- Erdoğan, M., 1994. İstanbul ve dolayının yapay agrega potansiyeli. *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni*, 14, 29-41.
- Erdoğdu, K., Türker, P., 1998. Effects of fly ash particle size on strength of portland cement fly ash mortars. *Cement and Concrete Research*, 28(9), 1217-1222.
- Eryıldız, D.I., Başkaya, A., 2000. Saman balyası ile yapılanma: Kırıkkale-Hasandede’de bir prototipin yapımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 15(2), 87-104.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., Thangavel, K., 2008. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1675-1683.

- Gemma, R.S., 2005. Strength development of concrete with rice-husk ash. *Cement and Concrete Composites*, 28, 158-160.
- Giaccio, G., Sensale, G.R., Zerbino, R., 2007. Failure mechanism of normal and high-strength concrete with rice-husk ash. *Cement & Concrete Composites*, 29(7), 566-574.
- Givi, A.N., Rashid, S.A., Aziz, F.N.A., Salleh, M.A.S., 2010. Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2145–2150.
- Güleç, A., 1992. Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvaların İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Habeeb, G.A., Fayyadh, M.M., 2009. Rice husk ash concrete: the effect of RHA average particle size on mechanical properties and drying shrinkage. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 1616-1622.
- Han, J.S., 1998. Properties of nonwood fibers. *Proceedings of The Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting, Korea*, 3–12.
- Mansaray, K.G., Ghaly, A.E., 1997. Physical and thermochemical properties of rice husk. *Energy Sources, PartA: Recovery Utilization, and Environmental Effects*, 19(9), 989-1004.
- Işık, E.C., 2003. Seramik Yapıştırma Harcında Kullanılan Agregaların, Kimyasal ve Mineralojik Bileşiminin Yapışma Mukavemetine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- İşbilir, B., Şubaşı, S., Ercan, İ., 2010. Pirinç kabuğu külünün beton durabilitesine etkisi. *International Sustainable Buildings Symposium*, 26-28 Mayıs, Ankara.
- Karlhans, W., 1990. *Fly Ash in Concrete*, Spon Pres., 18-19.
- Kartini, K., Mahmud, H.B., Hamidah, M.S., 2006. Strength properties of grade 30 rice husk ash concrete. 31st Conference on Our World in Concrete & Structures, 16-17 August, Singapore.
- Kocataşkın, F., 1973. *Yapı Malzemesi Dersleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul, 133-180.
- Kurtcebe, G., 2002. Kağıt endüstrisinde atık kağıdın yeri ve önemi. *Seka Dergisi*, 72, 11-15.
- Kwame, A., 1975. *Studies of Black Silica Produced Under Varying Conditions*. PhD Thesis, University of California, Berkeley.

- Malzum, F., 1989. Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mavi, Ö., 2000. Kireç Harç ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mehta, P.K., 1983. Puzzolanic and cementitious by products as mineral admixtures for concrete. Flay Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral by-Products in Concrete, 1(79), 23.
- Ndazi, B., Tesha, J.V., Bisanda, E.T.N., 2006. Some opportunities and challenges of producing biocomposites from non-wood residues. Journal Mater Science, 41, 6984-6990.
- Nehdi, M., Duquette, J., ve El Damatty, A., 2003. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. Cement and Concrete Research, 33(8), 1203-1210.
- Nemutlu, S., 1963. Çeltik Kapçığı Araştırmaları. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 5-16.
- Olgay, V., Herdt, J., 2004. The application of ecosystems services criteria for green building assessment. Solar Energy, 77(4), 389-398.
- Özışık, İ., 2001. Wacker Polymer Systems (WPS) Vinnapas Dispersiyon Tozları ve Kuru Karışım Harç Teknolojisi. Seminer Notları, İstanbul, 80.
- Öztürk M., 2005. Kullanılmış Kağıtların Geri Kazanılması, Kullanılmış Kağıttan Kağıt Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Rai, A., Jha, C.N., (2000). Natural Fibre Composites And Its Potential As Building Materials. Building Materials and Technology Promotion Council, 239-243.
- Roslan, A., Ku Halim K.H., Hamidah M.S., Mohamad, J.S., Khoo, H.C., 2005. Extrusion of fibre-reinforced cementitious composites. Conference on Forestry and Forest Products Research, 22-24 November, Malaysia.
- Safiuddin, M.D., Jumaat, M.Z., Salam, M.A., Islam, M.S., Hashim, R., 2010. Utilization of solid wastes in construction materials. International Journal of the Physical Sciences, 5(13), 1952-1963.
- Sakarya, S., 2011a. Kâğıt Karton Sektör Raporu. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri, Ankara.
- Sakarya, S., 2011b. Kâğıt Sanayi Değerlendirme Raporu. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği, Ankara.

- Saraswathy, V., Song, H.W., 2007. Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. *Construction and Building Materials*, 21(8), 1779-1784.
- Suess, M.J., Ugurlu, A., 1995. Katı Atık Yönetimi. Çevre Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 58-59.
- Uluata, A.R., 1981. Beton Malzemeleri ve Beton. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum.
- Yeğınobalı, A., 1999. Betonun İç Yapısı (Çimento Hamuru-Agrega Arayüzeyi ve Özellik İlişkileri). Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları 3., Ankara.
- Yıldız, S., Balaydın, İ., Ulucan, Ç., 2007. Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 85-91.
- Yorulmaz, H., 2014. Doğu Marmara Bölgesi Kağıt Sanayi Sektör Raporu. Bölge Planı Yayınları Serisi, 16.
- Youngquist, J.A., English, B.E., Scharmer, R.C., Chow, P. ve Shook, S.R., 1994. Literature Review on Use of Nonwood Plant Fibers for Building Materials and Panels. United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory General Technical Report.
- Zaccanti, O., 2006. Natural fibres in biobuilding for healthy housing, <http://www.ienica.net/italyseminar/fibres/zaccanti.pdf> (07.12.2013).
- Zain, M.F.M., Islam, M.N., Mahmud, F., Jamil, M., 2011. Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 25(2), 798-805.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Soyadı, Adı : YİĞİTER, Merve
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1986 – Samsun
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 545 257 12 51
e-mail : mervearabaci@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi ÇMF/ Kimya Mühendisliği	2009
Lise	Çorum Anadolu Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

İngilizce

Fransızca

Yayınlar

1. Bayram, M., Arabacı, M., Yüceer, M. Karadurmuş, E., 2009. Tuğla ve Kiremit Fabrikalarının Hava Kirliliğine Katkılarının Yapay Sinir Ağı Modellemesi ile Araştırılması. Üniversite Öğrencileri 4. Çevre Sorunları Kongresi, 21-22 Mayıs, İstanbul, 43-46.

2. Arabacı, M., Bayram, M., Yüceer, M., Karadurmuş, E., 2010. YSA Modellemesi ile Tuğla ve Kiremit Fabrikalarının Atmosfere Bıraktığı Kirlilik Yüklerinin Araştırılması. 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 22-25 Haziran, Ankara, 727-728.
3. Yiğiter, M., 2011. Avrupa'da Kimya Mühendisliği Eğitimi. 1. Ulusal Kimya Mühendisliği Öğrenci Kongresi,
4. Yiğiter, M., Arslan, K., Karadurmuş, E., 2012. Atık Kağıt Liflerinin İnşaat Sıva Malzemesine Dönüştürülmesi ve Karakterizasyonu. 10. ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül, İstanbul, Poster 40.
5. Yiğiter, M., Tarakçı, A., Aydın, A., Çengel, O., 2013. Kısa Saplı Lif Karakterli Endüstriyel Atıklardan Sıva Malzemesi Üretimi. 2. ulusal Kimya Mühendisliği Öğrenci Kongresi, 4-6 Mayıs, Ankara, 190.