

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKLARIN İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

136423

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeololoji Müh. Şafak KIRAL

136423

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı :Prof.Dr. Mirali S. ALOSMAN

HAZİRAN 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKLARIN İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeololoji Müh. Şafak KIRAL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mirali S. ALOSMAN

Bu tez 28 / 07 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mirali S. ALOSMAN

Jüri Başkanı

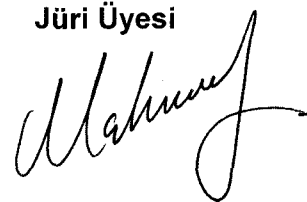


Prof. Dr. Lutfi SALTIBAŞ Yrd. Doç. Dr. Mahmut GİMEKÇİOĞLU

Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması süresince her türlü teşvik ve fedakarlığı gösteren, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mirali S. ALOSMAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Teknikeri Recai ŞENYURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmayı hazırlama aşamasında benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli aileme çok teşekkür ederim.

Şafak KIRAL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GÜNÜMÜZDE KULLANILAN İNŞAAT MALZEMELERİ.....	3
2.1. Çimento.....	3
2.1.1. Çimento hammaddeleri.....	3
2.1.1.1. Kalker.....	3
2.1.1.2. Kil.....	3
2.1.1.3. Marn.....	4
2.1.2. Çimentonun üretimi.....	4
2.2. Agregalar.....	5
2.2.1. Agregaların sınıflandırılması.....	5
2.2.2. Agregaların betona etkisi.....	6
2.3. Ahşap.....	6
2.4. Kerpiç.....	6
2.4.1. Kerpiç sınıfları.....	7
2.5. Tuğla- kiremit.....	8
2.5.1. Tuğla çeşitleri.....	9

2.7. Doğal taşlar.....	10
2.7.1. Taşların sınıflandırılması.....	10
2.7.1.1.Meydana gelişlerine göre taşlar.....	11
2.7.1.2. Elde ediliş şekillerine göre taşlar.....	12
2.7.1.3. İşleniş şekillerine göre taşlar.....	12
2.7.2. Yapı taşlarında aranılan özellikler.....	12
 BÖLÜM 3.	
İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN ATIKLAR	13
3.1. Termik santral atıklarının inşaat malzemesi olarak kullanılması.....	13
3.1.1.Uçucu küllerin inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi.....	13
3.1.1.1. Uçucu küllerin sınıflandırılması.....	16
3.1.1.2. Uçucu külün çevreye etkisi.....	17
3.1.1.3. Uçucu küllerin çimento ve beton üretiminde kullanılması.....	18
3.1.1.4. Uçucu külle yapılan çalışmalar.....	20
3.1.2. Taban külünün inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi.....	22
3.2. Atıksu arıtım çamurunu inşaat malzemesi olarak kullanılması.....	23
3.3. Mermer atıklarının inşaat malzemesi olarak kullanılması.....	27
3.3.1. Parça mermer atıklar.....	29
3.3.2. Toz mermer atıkları.....	29
3.3.3. Dolgu stabilizasyonunda mermer atıklarının değerlendirilmesi	29
3.3.4. Mermer toz atıklarının yalıtım tuğlası olarak değerlendirilmesi.	30
3.3.5. Porselen üretiminde kullanımı.....	30
3.3.6. Sır maddesi olarak kullanımı.....	30
3.3.7. Plastik sanayiinde dolgu malzemesi olarak kullanılması.....	30
3.3.8. Kireç, kalsine dolomit üretiminde kullanılması.....	31
3.3.9.Çimento üretiminde kullanılması.....	31
3.4. Plastik ve lastiklerin inşaat malzemesi olarak kullanılması.....	32

3.5. Bor atıklarının inşaat malzemesi olarak kullanılması.....	37
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
4.1. Deneylerde kullanılan materyaller.....	40
4.1.1. Portland çimentosu.....	40
4.1.2. Standart kum.....	40
4.1.3. Su.....	40
4.1.4. Borik asit.....	40
4.1.5. Kil pestili.....	41
4.1.6. Perlit.....	41
4.1.7. Sıvı cam.....	42
4.1.8. Katran.....	43
4.2. Çimento harçlarında yapılan deneyler.....	44
4.3. Harç karışımlarının hazırlanması.....	44
4.3.1. Borik asit kullanarak hazırlanan harçlar.....	44
4.3.2. Kil pestili kullanarak hazırlanan harçlar.....	45
4.3.3. Kil pestili, sıvıcam, perlit ve katran kullanılarak hazırlanan harçlar.....	46
4.4. Şahit numune hazırlanması.....	47
4.5. Harç kalıplarının doldurulması.....	48
4.6. Harçların bekletilmeleri ve kür edilmeleri.....	49
4.7. Harç numunelerinin basınç dayanımı tayini.....	49
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
5.1. Borik asit kullanarak.....	51
5.2. Kil pestili kullanarak.....	51
5.3. Kil pestili, katran, sıvıcam, perlit kullanarak.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR

mm : Milimetre

cm : Santimetre

m : Metre

TS : Türk Standartları

dm³ : Desimetre küp

°C : Celcius Derecesi

m² : Metre kare

ASTM: American Society for Testing Materials

dB : Desibel

sn : Saniye

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1 Harç hazırlama mikseri.....	48
Şekil 4.2 Harç kalıbı.....	49
Şekil 4.3 Schenck Trabel-Cel çekme koparma tezgahı.....	50
Şekil 5.1: Çimento azaltılarak kil pestili katkılı harçların basınç dayanımı- numune yaşı ilişkisi.....	53
Şekil 5.2: Çimento azaltılmadan,kil pestili katkılı harçların basınç dayanımı- numune yaşı ilişkisi.....	53
Şekil 5.3. Kil pestili,katran,perlit,sıvı cam katkılı harçların basınç dayanım- numune yaşı ilişkisi.....	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.Kerpiç sınıfları ve boyutları.....	8
Tablo 3.1. Termik Santral Atıkları ve Atık miktarları.....	14
Tablo 3.2. Termik Santral Küllerinin Kullanım Alanları.....	16
Tablo 3.3. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri	17
Tablo 3.4. Türkiye’de kömüre dayalı bazı termik santraller ve kül üretim miktarları.....	19
Tablo 3.5. Avrupa Atıksu Çamurlarını Nasıl Uzaklaştırıyor	24
Tablo 3.6. Çamur ve kilin karakteristik özellikleri.....	26
Tablo3.7. Mermer Atıklarının Değerlendirilme Alanları.....	28
Tablo 4.1.Kil pestilinin kimyasal özellikleri.....	41
Tablo 4.2 Tipik bir perlitin kimyasal içeriği (%).....	42
Tablo 4.3. Sıvı camın kimyasal içeriği (%).....	43
Tablo 4.4 Üretilen kil pestili katkılı harçların cinsleri ve kodları.....	45
Tablo 4.5 Kil pestili kullanarak üretilen katkılı harç karışımlarına giren malzeme miktarları.....	46
Tablo 4.6 .Üretilen katkılı (sıvıcam,katran, perlit, kil pestili) harçların kodları...	47
Tablo 4.7 : Üretilen katkılı(sıvı cam,katran, perlit, kil pestili) harç karışımlarına giren malzeme miktarları.....	47
Tablo 5.1.Kil pestili katkılı harçlardan elde edilen basınç dayanımları.....	52
Tablo 5.2: Kil pestili, katran, perlit, sıvı cam katkılı harçların basınç dayanımları.....	54

ÖZET

Anahtar Kelimeler: İnşaat Malzemesi, Çevre Kirliliği, Atık Değerlendirmesi

Dünyada ve ülkemizde çeşitli faaliyetler sonucu oluşan atıklar ve bu atıkların ürünleri devamlı sorun oluşturmaktadır. Bu atıkların çevre üzerindeki etkilerinin yanında insanlar ve diğer canlılar üzerindeki etkisi de gün geçtikçe artmaktadır. Ortaya çıkan bu atık malzemelerin kullanım olanaklarının yaratılması çok yönlü yarar sağlayacaktır.

Birçok yapı malzemesinin çeşitli özelliklerinin iyileştirebilmesi, konvansiyonel malzemelere yeni kullanım alanları bulunabilmesi veya bilinen uygulamalar için yeni malzemeler üretilmesi sağlarken diğer yandan enerji tasarrufu, ekonomi, çevre koruma, doğal kaynakların daha akılcı kullanımı gibi avantajlar elde edilecektir.

Bu çalışmada, günümüzde kullanılan inşaat malzemeleri ve inşaat malzemesi olarak kullanılan atıkların genel bilgisi ışığında farklı atık malzemeler kullanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneylerde borik asit, bor endüstrisinin atığı olan kil pestili tek başına ve sıvıcam, katran, perlit ile karıştırılarak TS 24'e göre harç numuneleri hazırlanmış ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, şahit harç numunesi basınç değerleriyle karşılaştırılmış ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylece, bu çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin çimentoya ilave veya ikame malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

EVALUATION of WASTE as CONSTRUCTION MATERIAL

SUMMARY

Keywords: Construction material, waste evaluation, environmental problems

Wastes and waste products that arise from various kinds of reasons cause problems in our present world and our country. In addition to the impact of these wastes on the environment, its influence on the humans and other living creatures is getting more day by day.

It would supply great benefits to create a usage potentiality of several obtained waste materials. In this way, some advantages like, improving several features of construction materials, finding new usage areas for conventional materials, or producing new materials for known applications and besides energy savings, economy, environmental protection and wise usage of natural resources.

In this study, experiment studies have been done by using different waste materials with general knowledges of used wastes as construction material and construction materials. Mortar samples have been prepared according to Turkish Standards 24 (TS 24) using only boric acid, only waste clay which is boron industrial waste and then by mixing waste clay, liquid glass, tar and perlite.

Obtained results have been compared with pressure values of unadulterated mortar and near results have been obtained. So, it is resulted that additives material using this study can be used as materials instead of cement or addition to it

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda, sanayiden veya madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıkları kullanarak yeni inşaat malzemeleri geliştirmek araştırmacıların ilgi alanı olmuştur. Bu atıklar, sanayileşme ile yüksek miktarlara çıkmakta ve bir dizi ekonomik ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Sanayi atıklarını ve yan ürünlerini azaltacak veya onları yararlı bir ürüne dönüştürecek yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve uygulanmasına ihtiyaç vardır . Günümüzde sanayi atıkları, maden atıklarının depolanması, atılması büyük sorunlar haline gelmiştir. Depolanan atıklar çevreyi büyük ölçüde kirletmekte ve bunların depolanması işletmelere ekonomik anlamda büyük yükler getirmektedir. Ayrıca doğal kaynaklar tükenmez boyutlarda değildir. Bunların yararlı şekilde ve uzun süre kullanılması önemlidir.

Dolayısıyla sanayi ve maden atığı katkılı çimentoların üretimi ve kullanımı atık değerlendirilebilmesi, enerji ve doğal kaynakların korunması, doğanın daha az kirlenmesi, düşük maliyetler gibi oldukça önemli yararlar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, borik asit, bor maden işletmesi ile ortaya çıkan kil pestili atığı tek başına çeşitli oranlarda portland çimentosuyla karıştırılarak ve kil pestili, sıvı cam, katran, perlit birlikte kullanılarak çeşitli oranlarda portland çimentosuyla karıştırılarak farklı formlarda katkılı harçlar elde edilmiştir.

Elde edilen katkılı harçlar üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmış, sonuçlar şahit harç numunesinin (katkısız olarak hazırlanan harç numunesi) basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırılmıştır ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylece bu çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin çimentoya ilave veya ikame malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tükenmez miktarda olmayan doğal kaynaklarımızın daha verimli ve uzun süre kullanılabilmesi için şunda sanayide, atık olarak atılan, depolanan, maden ocaklarında oluşan ve kullanılmayarak çevreyi kirleten döküntüleri inşaat malzemelerine ilave veya ikame malzeme olarak kullanarak hem çevrenin daha az kirlenmesi, doğal kaynakların daha verimli ve uzun süre kullanılabilmesi hemde ekonomik anlamda büyük yararlar sağlayacaktır.



BÖLÜM 2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN İNŞAAT MALZEMELERİ

2.1. Çimento

Çimento, kalkerli ve killi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp öğütüldükten sonra en az sinterleşmeye kadar pişirilmesi ile oluşan klinkerin, az miktarda (%3- %6 oranında) alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile birlikte çok ince öğütülmesi sonucu elde edilen ve su ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcı özellik kazanan bir üründür [2].

2.1.1. Çimento hammaddeleri

Çimento üretiminde esas olarak kalker, kil veya marn kullanılmaktadır. Bunun yanında hammadde karışımının demir oksit miktarı yetersiz olduğunda, bunu telafi etmek gayesi ile demir cevheri veya pirit külü de hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde, silisyum dioksit miktarı yetersiz kaldığında bunu karşılamak amacıyla yüksek silisli kum hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır [3].

2.1.1.1. Kalker

Kalker çimentonun en önemli ve yüzde olarak en yüksek miktarda kullanılan hammaddedir. Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin (klinker minerallerinin) hepsi CaO 'li bileşiklerdir. Kalker genellikle yüksek miktarda kalsit (CaCO_3) ve çok az miktarda kuvars (SiO_2) minerallerini ihtiva eder.

2.1.1.2. Kil

Çimento üretiminde ikinci hammadde kildir. Killeri oluşturan ana bileşen sulu alüminyum silikat bileşikleridir. Killeri; kaolin, montmorillonit ve illit gibi kil

minerallerinin yanında önemli ölçüde demir oksit, demir sülfür, kum ve kalsit gibi kil dışı mineraller ve çok az miktarda organik madde içermektedir. Killer esas olarak kütlece en çok SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeren maddedir. Az miktarda MgO , CaO , K_2O , Na_2O içerirler.

2.1.1.3.Marn

İçinde değişik oranlarda SiO_2 , kil mineralleri ve demiroksit gibi safsızlıklar bulunan kireçtaşına marn denir. Hem kalker hem kil bileşenlerini yan yana içermesi edeniyle marn da çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır [3].

2.1.2. Çimentonun üretimi

Ülkemizde çimento üretim sistemi genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir

- a) Çimento hammaddesi olan kalker, kil (veya marn) hammadde ocağından alınır
- b) Kırııcıdan geçen hammadde stoklanır.
- c) Stoktan alınan hammadde değirmene gönderilerek öğütülür. Belli oranlarda kil ve kalker karışımından ibaret öğütülmüş hammadde karışımına Farin adı verilir.
- d) Farin silolarda depolanır.
- e) Sonra ısı değiştiricilerden geçirilir.
- f) Döner fırına verilen Farin 1400^0C - 1450^0C sıcaklıkta pişirilir. Farinin pişmesi sonucunda elde edilen ürüne Klinker adı verilir.
- g) Fırından çıkan klinker soğutuculardan geçirilir.
- h) Soğutulan klinker depolanır.
- ı) Klinkere alçı taşı eklenerek çimento değirmeninde öğütülür. Öğütülmüş klinker ve alçıtaşı karışımına çimento adı verilir.
- j) çimento pompalanarak silolara doldurulur.
- k) Torbalanarak pazarlanır.

Çimento fabrikalarında klinker üretimi akım şeması:

Taş Ocağı → Kırııcı → Değirmen → Homojenleştirme



Klinker←Soğutucu←Döner Fırın [4]

2.2. Agregalar

Genel olarak mineral kökenli çeşitli boyutlarda sert tanelerden oluşan kum, çakıl, kırmataş veya kırmaçakıl gibi atıl malzemelere agregalar denir [5].

2.2.1. Agregaların sınıflandırılması

Agregaları birçok şekilde sınıflamak mümkündür.

A) Kaynağına göre;

1) **Doğal agregalar** : teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış ve kırılmamış yoğun yapılışlı agregalardır. Buna ponza taşı örnek verilebilir.

2) **Yapay agregalar** : Yüksek fırın cüruf taşı, ergitme cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılışlı agregadır. Buna perlit örnek verilebilir.

B) Tane büyüklüğüne göre;

1) **İnce agregalar (kum)** : İnce agregalar doğal kum, kırma kum (ince mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve kare delikli 4.76 mm veya yuvarlak delikli 7mm çaplı elekten geçen malzemedir.

2) **İri agregalar (çakıl)** : İri agregalar, taş (iri mıcır), çakıl veya bunların karışımından elde edilen ve kare delikli 4.76 mm veya yuvarlak delikli 7 mm çaplı elekten geçmeyen malzemedir.

3) Tüvenen agregalar (ince ve iri agregalar karışımı) :

a) **Doğal karışık agregalar**: Agregalar ocağından, konkasörden veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregalardır.

b) Hazır karışık agregâ: İnce ve iri agregânın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış olan bu agregaların belirli tane dağılımını sağlayacak şekilde elde edilir.

2.2.2. Agregaların Betona Etkisi :

Agregalar beton hacminin yaklaşık olarak %75'ini oluşturur. Bu nedenle betonun işlenebilirliğine, mukavemetine, sağlamlığına, dayanıklılığına, aşınma mukavemetine kısaca beton kalitesine etkisi büyüktür [5].

2.3. Ahşap

Ahşap, en eski yapı malzemelerinden biridir. İnsanoğlunun eski çağlardan beri barınma, korunma amaçlı olarak ahşabı kullandığı bilinmektedir. Günümüzde ormanların çeşitli nedenlerle azalması, yerine yenisinin yetiştirilmemesi veya geç yetişmesi ahşabın kıymetini arttırmıştır. Çağımızda ahşabın kullanım alanları yerine plastik, metal (demir profilleri), alüminyum, beton ve çimento mamulleri kullanılmasına rağmen ahşap, görünüş, izolasyon ve istenilen şeklin kolayca verilmesinden dolayı yine tercih edilmektedir. Şu bir gerçektir ki ahşap, çatı dışında artık binalarda ve köprülerde taşıyıcı malzeme gibi kullanılmamaktadır.

Bugün ahşabın atıkları ve artıkları, değişik şekil ve isimler altında yeni bir malzeme olarak üretilmektedir. Bunlar yonga ve lifli levhalar (sunta, kontrplak, heraklit, konratabla vb.) olarak sıralanabilir. Ahşabın kesilerek standart boyutlara getirilmiş haline ise kereste denir.

2.4. Kerpiç

Kerpiç kolay bulunabilen ve ekonomik bir yapı malzemesidir. Kerpici yıllardır kullanılan geleneksel bir yapı malzemesi olduğu bilinmektedir. Günümüzde yeni karışımlarla mekanik ve teknik özelliği geliştirilerek modern yapı malzemesi olarak kullanılmaya çalışılmaktadır. Son yıllarda eş değer yapı malzemelerinin pahalı olması bunun yanında atık malzemelerin çevre problemi oluşturması bilim adamlarını atık malzemelerle yeni kerpiç üretimi araştırmasına sevk etmiştir.

Kırsal kesimde tarım dışı atıl insan gücünü değerlendirmen ve ekonomik yapı malzemesi olarak kerpicing üretilmesi fikri yaygınlık kazanmıştır.

Kumlu kilin su ile yoğrulmasından oluşan çamur kalıplanıp şekillendirildikten sonra kurutulması yolu ile elde edilen yapı malzemesine kerpiç denilmektedir. Kerpicing inşaatta kullanılması, örölmesi tuğla gibidir. Genellikle ana ve kuzu olarak iki farklı boyutta üretilmektedir.

Kerpiçlerin basınç dayanımları tuğla kadar olmamakla birlikte killi toprağın cinsine bağılı olarak 5 - 20 kgf/cm² arasında değişmektedir. Kerpiçlerin birim ağırlıkları tuğlalara göre oldukça büyüktür. Kerpiçler duvarda da yine kilden yapılan harçla (çamurla) örölürler. Güneşte kurutuldukları için iç kısımlardaki kuruma ile dış yüzeyin kuruması eşit olmadığından çatlamalara neden olur. Bunu önlemek için bitkisel artıklar (saman, sap) gibi maddeler katılarak çatlamalar bu yolla büyük oranda önlenmiştir.

Kerpicing en büyük dezavantajı suya karşı direnci oldukça düşük olmasıdır. Bu özelliğini iyileştirmek için çimentolu alçılı kerpiç, uçucu külle kerpiç üretimi araştırmaları devam etmektedir. TS 2514 ve TS 537 ye göre kerpiç özellikleri sınıfları aşağıda verilmiştir [6].

2.4.1. Kerpiç Sınıfları (TS 2514/1977)

Kerpiçler ana ve kuzu adı altında ikiye ayrılmaktadır. Genellikle kerpiç'in kesme işleminin zor olması dolayısıyla ana kerpiçlerden daha küçük boyutta kuzu kerpiçler üretilerek duvar örmede kolaylık sağlarlar. Kerpiç kalıpları rötreden dolayı kerpiç boyutundan %3-5 daha büyük olmalıdır.

Tablo 2.1.Kerpiç sınıfları ve boyutları

Sınıf	Boyut(cm)	Hacim(dm ³)	Yaklaşık ağırlığı(kg)	İsmi
I	12x19x40	9.12	10-12	KUZU
II	12x30x40	14.40	15-25	ANA
III	12x18x30	6.48	7-11	KUZU
IV	12x25x30	9.00	10-15	ANA

2.5. Tuğla - Kiremit

Tuğla ve kiremit üretiminde,killi toprak, su ve gerektiğinde katkı maddeleri (kum,öğütülmüş kiremit ve tuğla tozu) katılarak elde edilen çamur hammadde olarak kullanılır.

Püskürtük kayaların ayrışması sonucu oluşan, yüzey killeri kiremit ve tuğla için en uygun hammaddedir. Yurdumuzda bol miktarda bulunmaktadır. Tuğla-kiremit hammaddelerinde şu özelliklerin olması kaliteli mamul üretmek şarttır.

Tuğla ve kiremit killerinde bulunması gereken limitler

- kilin kuruma küçülmesi %12'den fazla topraklar ancak daha az plastiklik gösteren topraklarla karıştırılarak kullanılabilir.
- Kuruma ve pişme sırasında çatlayan ve çok deforme olan topraklar tuğla ve kiremit üretimine elverişli değildir.
- 900 °C de pişen kilin sertliği 2 dereceden az ise tuğla, 3'den az ise kiremit üretimine elverişli değildir.
- 900 °C de pişen kilin su emmesi %8 den az olanlar normal inşaat tuğlasında %18 den fazla olanlar ise kiremit üretimine elverişli değildir.
- % 35 den fazla CaCO₃ bulunduran hammaddeler tuğla ve kiremit için uygun değildir. Yani %35 az miktarda CaCO₃ bulunan killeri tercih edilmelidir. Kil içinde istenilen boyuttan iri tane oranı %10' dan fazla ise tuğla ve kiremit için uygun değildir.
- kuruma ve pişirme esnasında çatlama ve deforme gösteren killeri uygun değildir.

- pişirme işleminden sonra rengin açık renkte olması satış açısından tercih edilmez.

Tuğla ve kiremit üretim şekliyle birbirinin aynısıdır. Bu işlem kalıplamada farklılık gösterir. Tuğla ve kiremit hammaddesi şu aşamalardan geçer:

- 1- hammadde su ile birleştirilerek belirli bir süre dinlendirilir.
- 2- paletli karıştırıcılarda karıştırılarak çamur haline getirilir.
- 3- Çamur bilyeli silindirlerden geçirilerek topaklar iyice ezilir.
- 4- Belirli oranda rutubetlenilerek kalıplamaya gönderilir.
- 5- Kalıptan şekillenmiş olarak çıkan yarı mamul kapalı alanda sıcak hava ile veya açık havada dinlendirilerek kısmi kurutmaya tabi tutulur.
- 6- Dinlenen yarı mamul pişirme fırınlarında pişirilir
- 7- Pişirme işleminden sonra depolama veya sevkiyat işlemiyle tamamlanır.

2.5.1. Tuğla çeşitleri

Genel olarak imalat şekillerine göre gruplandırılırlar. Bu gruplar şunlardır :

- 1- El (bayağı) tuğlalar
- 2- Pres tuğlalar
- 3- Makine tuğlaları
- 4-Klinker tuğlaları
- 5- Kaldırım tuğlaları
- 6- Ateş tuğlaları
- 7- Cephe tuğlaları
- 8- Sinterleşme
- 9- Baca tuğlası

Bu gruplarda bazı tuğla grupları günümüzde üretilmemektedir. En yaygın kullanılan tuğla makine tuğlalarıdır. Bazı özellik arz eden yerler için klinker ve ateş tuğlaları üretilmektedir.

2.6. Kiremit

İçinde kireç ve organik madde bulunmayan ekşitilmiş lüleci çamurundan yapılırlar. Çatlamaları önlemek için kil hamuru içine bir miktar kum katılır. Kiremitlerde pullanma, çarpılma, çatlama gibi özürlerin olmaması istenir.

İyi bir kiremit metale vurulduğunda tiz bir ses çıkarmalıdır.

Günümüzde en çok kullanılan kiremit marsilya tipi kiremittir. Diğer kiremit çeşitleri marsilya tipi kiremide göre daha az kullanılmaktadır.

Kiremitler; yapıyı kar, yağmur, rüzgar gibi üstten gelen harici tesirlerden korudukları gibi yapıya da bir güzellik kazandırır.

Kiremitlerin yapıldıkları kil, hemen hemen tuğla yapmakta kullanılan kilin aynıdır. Ondan biraz daha yağlı ve incedir. İçinde yabancı maddelerin bulunmamasına daha çok ehemmiyet verilir. Kilden kiremit yapılış şekli de tuğlalarda olduğu gibidir. Tuğlalardan farklı tarafları, kalıplanmaları yani şekillendirilmeleridir. Kalıplanan hamur kurutulduktan sonra tuğla fırınlarında veya özel kiremit fırınlarında pişirilmek suretiyle kiremit elde edilir. Pişmiş kil kiremitleri, başlıca 3 çeşittir:

- Düz kiremitler
- Yerli kiremitler
- Makine kiremitleri

Bunların içinde düz ve yerli kiremitler çok az kullanılırlar. En çok kullanılan makine kiremitleridir.

2.7. Doğal taşlar

Yer kabuğunu oluşturan sert ve katı kütlere taş (kayaç) denir. Taşlar, genellikle bir veya birden fazla mineralin bir araya gelmesi ile meydana gelmişlerdir. Örneğin; granit, gabro, siyenit gibi magmatik taşlar (kayaçlar) minerallerden, mermer,

kuvarsit, tek bir mineralden, farklı tip ve çeşitlerdeki kum taşları konglomeraları meydana getirmişleridir.

Genellikle taşlar, tarih boyunca en çok kullanılan ve en iyi tanınan yapı malzemesidir. Kullanım yerleri, duvarda, kemer ve pencere kornişlerinde, zemin, duvar ve çatı kaplamalarında, tren yollarında, agrega yapımında (mıcır) ve taş unu elde etmekte kullanılır. Taşlar, doğal ve yapay olarak iki şekilde elde edilirler. Doğal taşlar, isminden de anlaşıldığı gibi doğadan kütle olarak elde edilir. Suni taşlar ise, küçük boyuttaki taşların herhangi bir yapıştırıcı veya bağlayıcı ile birleştirilerek istenilen boyutta ve şekilde elde edilen taşlardır (Beton, karo vb).

2.7.1. Taşların sınıflandırılması

2.7.1.1. Meydana gelişlerine göre taşlar

a) Tortul (sedimanter) taşlar: Her çeşit taş parçalarının ve minerallerinin, çeşitli sebeplerden dolayı bozulup ve dağılması, daha sonra da değişik yollarla taşınarak bir yerde çökmesi sonucu meydana gelen taşlara denir. En yaygın olmaları, akarsu yataklarında çökme sonucu doğal olarak çimentolaşıp birbiriyle yapışıp tek kütle haline gelenlerdir. (Puding, breş, konglomeralar, kumtaşı, kil taşı, şeyl, karbonatlı kayalar ve organik- yanıcı kayalar)

b) Magmatik (püskürük) taşlar: Bu taşlara püskürük taşlar ismi de verilir. Bu taşlar, yer derinliklerinde bulunan, sıcak ve akışkan eriyiğe (magma), derinliklerde veya yeryüzüne çıkan magmanın soğuması yada kristalleşmesi sonucu oluşurlar. Genellikle gözenekli yapıya sahiptirler. (Sünger taşı, perlit, bazalt, andezit, obsidiyen ve volkanik tüflerdir.)

c) Metamorfik taşlar: Bu taşlara başkalaşmış taşlar adı da verilir. Bu taşlar, daha evvel mevcut olan küçük kütlelerin ısı ve basınç altında değişmesi sonucu meydana gelmişlerdir (Ardavuz, mermer, kuvarsit vb.).

2.7.1.2. Elde ediliş şekillerine göre taşlar:

Taşlar, doğadan iki şekilde elde edilirler. Yeryüzüne çıkmış, herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın istenilen boyutta serbest halde bulunurlar veya büyük kütleler halinde toprak altında yada toprak üstünde bulunan kırılarak veya kesilerek elde edilen taşlardır.

- a) toplama taşlar
- b) ocak taşları

2.7.1.3. İşleniş şekillerine göre taşlar

İşleniş şekillerine göre taşlar; moloz, kaba yonu, ince yonu ve kesme olarak gruplandırılır. Bu taşlarla örülen (inşa edilen) duvarlarda aynı ismi alırlar, moloz taş duvar, kaba veya ince yonu taş duvar gibi. Kesme taşlar ise yerine göre duvar da veya duvar kaplamasında kullanılır. Duvarda kullanılırsa kesme taş duvar, kaplama olarak da taş taş kaplama adını alır.

- a) Moloz Taşlar
- b) Kaba yonu Taşlar
- c) İnce yonu Taşlar
- d) Kesme Taşlar

2.7.2. Yapı taşlarında aranılan özellikler

Bütün malzemelerde bazı özelliklerin olması arzu edildiği gibi taşlarda da şu özelliklerin olması istenir.

- Basınç ve çekmeye karşı yeterince direnç,
- Donmaya dayanıklılık,
- Kusursuz olma, boşluksuz ve cila tutma,
- Harca yapışma,
- İşlenebilme,
- Aşınmayadayanıklılık[6].

BÖLÜM 3. İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN ATIKLAR

Bu bölümde günümüze kadar inşaat malzemesi olarak kullanılan atıklarla yapılan çalışmalar verilmiştir.

Bunlar termik santral atıkları (uçucu kül, taban külü), atıksu arıtım çamuru, mermer atıkları (toz ve parça), plastik ve lastikler, bor atıkları dır.

3.1. Termik Santral Atıklarının İnşaat Malzemesi Olarak Kullanılması

3.1.1. Uçucu küllerin inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi

Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümeleri enerji tüketimlerinin artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde de nüfus artışı, yaşama standardının yükselmesi, sanayileşme ve kentleşme enerji gereksinimi hızlı bir şekilde artırmıştır. Bu gereksinim karşısında mevcut potansiyeller mümkün olduğu kadar çabuk bir biçimde harekete geçirilmiş ve hidroelektrik ve termik santraller bir çözüm olarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle endüstriyel yakıt olarak kullanılma imkanı olmayan düşük kalorili kömür yatakları yakma büyük kapasiteli termik santraller kurulması enerji üretimini arttırmak amacıyla yürütülen çalışmalar arasında basta gelenlerden birisidir. Ancak enerji üretiminin arttırılmasında tutarlı bir çözüm olarak gözüken kömüre dayalı termik santrallerin sayısının artması önemli ekolojik, ekonomik ve teknik sorunları da beraberinde getirebilecek olan kül üretiminin de artmasına neden olmaktadır. Bu küllerin santrallerden uzaklaştırılması ve depolanması muhtemel çevre kirliliğinin yan sıra işletme, enerji üretim kaybı vb. konularda da parasal ve teknik problemler yaratabilmektedir.

Termik santrallerde kullanılan taş kömürlerinin % 10-15'i. linyit kömürlerinin % 20-40'i küldür. Termik santralin bir 1kWh'lik enerji üretimi yaklaşık 110 g. külün atık madde olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, 1000 MW'lık bir santralden 1 yılda yaklaşık 650.000 ton uçucu kül ve taban külü elde edilmektedir. Bu mertebedeki bir kül üretiminin depolanabilmesi için yılda 6000 m² santralin hizmet süresi olarak kabul edilen 30 yıllık süre içinde ise 180 000 m² civarında bir araziye ihtiyaç doğmaktadır.

Ülkemizde kömüre dayalı termik santrallerin optimum kazan gücünün 150 MW olduğu ve yakılan kömürün % 20 civarında kül bırakan kömür olduğu varsayılırsa ortaya çıkacak sorunun boyutu Tablo 3.1.'deki değerlerden kolayca anlaşılabilir.

Tablo 3.1. Termik Santral Atıkları ve Atık Miktarları

Termik santral atıkları	1 kg kömürden elde edilen atık malzeme	150 MW'lık kazandan elde edilen atık malzeme
Taban külü (cüruf)	40 g	9 t/saat
Temizlenmemiş baca gazında kül	-	20 g/m ³
Temizlenmiş baca gazında kül	-	0.4 g/m ³
Uçucu kül	175g	23.5 t/saat

Türkiye toplam uçucu kül üretimi yaklaşık 13 milyon ton/yıl'dır. Bu ölçüde büyük boyutlara varan uçucu kül üretimi çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek atık madde niteliğinden kurtarılmadıkça potansiyel bir problem konusu olmaya devam edecektir. [3]

Termik santrallerde üretilen küllerin santral dışına, genellikle santralden oldukça uzak bir yere taşınması gerekmektedir. Taşıma sistemlerinde meydana gelen arızalar, elektrik üretiminin durmasına ve dolayısıyla önemli elektrik enerjisi kayıplarına

neden olur. Öte yandan, santral dışına taşınarak kül tutma havuzları, barajları gibi yerlerde depolanmaları sırasında uçucu küller yağmur ve rüzgar erozyonu, tozlanma radyasyon, tarımsal ürünlere zarar, zeminde süzülme halinde toksik madde taşıması gibi çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Bu sorunlar çevredeki su ve hava kitlesine, canlıların yaşamında, tarım ürünlerinde, çevresel estetikte ve dolayısıyla içinde bulunduğu bölgenin ekonomik faaliyetlerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak, bazı önlemler alarak bu sorunları bir ölçüde azaltmak mümkün olabilmektedir. Örneğin küllerin nemlendirilerek taşınması, havuzlarda çökeltilmesi, rüzgar erozyonu ve tozlanma problemlerini azaltmaktadır. Ayrıca sulu küllerin kömür alındıktan sonra boşalan ocaklara atılması da çevre sorunlarına bir ölçüde çözüm getirmekte ve aynı zamanda bu tür yerlerin yeşillendirilmesine de olanak sağlamaktadır.

Dünyada enerji sorununun büyümesiyle kamuoyunda çevre bilincinin yükselmesi hemen hemen eş zamanlı olarak 70'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Birbiriyle çelişkili görünmekle birlikte, gerçekte birbirlerini tamamlayan bu iki kavram doğrultusunda enerji üretim ve tüketiminde tasarruf ve çevre kirlenmesine neden olan atıkların geri kazanılması konularının önemle ele alınması ve termik santraller özelinde, çevre kirlenmesi ve teknik, ekonomik sorunlar ve bunlara karşılık atıkların çeşitli potansiyel kullanım alanlarının bulunması gibi etkenler nedeniyle termik santrallerde kül üretimi ve bu üretimin değerlendirilmesi konuları önem kazanmıştır.

Enerji ihtiyacındaki artışa paralel olarak üretim miktarı büyük ölçülere ulaşan uçucu küllerin tarımdan kimya endüstrisine, zemin ıslahından çeşitli yapı malzemeleri üretimine kadar çok sayıda potansiyel kullanım alanları mevcuttur. Uçucu küllerin en çok kullanılabileceği alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların yoğunluğu uçucu küllerin çimento, beton, tuğla, hafif agrega üretiminde, zemin stabilizasyonu ve dolgu yapımında kullanılmasına yöneliktir. Uçucu küllerin kullanım olanağı bulunan alanlar Tablo 3.2.'de özetlenmiştir. [3]

Tablo 3.2. Termik Santral Küllerinin Kullanım Alanları

Çevre	İnşaat			Tarım	Diğer
	Çimento	Beton	Yapı Malzemesi ve Diğer		
Atık suların arıtılması absorban	Hammadde Klinkere ilave Çimentoya ilave	Normal beton Hafif beton Gaz beton Enjeksiyon betonu	Kil-kül tuğlası Hafif agrega Temel ıslahi Zemin Stabilizasyonu Kireç-kül tuğlası	Toprak ıslahı Yapay gübre üretimi	Döküm ve ve metal sanayii Seramik sanayii Sondaj işleri Karlanma ve Buzlanma önlenmesi

3.1.1.1. Uçucu küllerin tanımı ve sınıflandırılması

Uçucu kül, kömür yakan termik santrallerde, kömürün içerdiği mineral maddelerin tam yanma sonucu bazı değişikliklere uğramasıyla oluşan ve çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince partikül halinde bir atıktır [7].

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında genel olarak ASTM sınıflandırılmalarından yararlanılmaktadır. ASTM C618'e göre uçucu küller F ve C olarak sınıflandırılmaktadırlar. F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden, C sınıfı küller linyitli kömürlerden elde edilmektedir. Ayrıca içersinde %10'dan daha fazla CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır. C sınıfı küller kendi kendine çimentolaşma özelliğine sahiptirler. F sınıfı uçucu küller ise bu özelliğe sahip değildir. Kireçle karıştırılmaları durumunda bu tarz puzzolanik özellik kazanabilmektedirler.

Türk Standart Enstitüsü tarafından uçucu küllerle ilgili olarak hazırlanmış iki standart da bulunmaktadır. Bunlardan TS 639 uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, deney yöntemleri ve kalite kontrollerini tayin ederken, TS 640 ise uçucu küllü çimentoların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile deney yöntemleriyle ilgilidir.

Türkiye'de çok miktarda bulunan yüksek kireçli uçucu küller ile ilgili TS 639'da herhangi bir hüküm bulunmaktadır

Tablo 3.3. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri [8]

Bileşim	Sınıf F	Sınıf C
SiO ₂	35	35
Al ₂ O ₃	20	20
Fe ₂ O ₃	6	6
SO ₃	5 max	5 max
CaO	5	15
MgO	5 max	5 max
Na ₂ O	1,5	1,5
Nem içeriği	3	3
Yanma kaybı	12	6

3.1.1.2. Uçucu külün çevreye etkisi

Uçucu küllerin su, toprak ve havayı kirletebileceği bilinmektedir. Külün atıldığı veya kullanıldığı ortamlarda bu olumsuz etki dikkate alınmalıdır [8].

Termik santrallerinden üretim sırasında açığa çıkan bu mikron boyutundaki parçacıklar insan sağlığına etkileri vardır. Toksik iz elementlerin küçük uçucu kül parçacıklarında yoğunlaşması, bu parçacıklar elektrofiltrelerden geçebildiği ve ciğerlere kadar ulaşabildiğinden oldukça önemlidir [7].

Küçük kül parçacıkları, toksik iz elementler açısından en fazla derişimi gösteren tanelerdir. Ayrıca elektro filtrelerde yeteri kadar iyi toplanamazlar. Bu mekanizmalar, uçucu kül parçacıklarının %95-99.5 kadarını tutabildikleri halde, kalan kısım mekanizmaları geçerek atmosferden çevreye yayılmaktadır.

Uçucu kül parçacıklarının 10 mikrondan küçük olan kısmı solunum boyutunda olduğundan, insanlar, çevrede görülmesi ve fark edilmesi çok zor olan küçük parçacıklarla karşı karşıyadır. Örneğin; 1 mikrondan küçük olan parçacıklardaki iz elementler %50-80 oranında ciğerlerin alveolar bölgelerinde tutulurken, 1-20 mikron

arası uçucu kül tanelerindeki iz elementler %5-15 oranında solunum sisteminin kulak burun boğaz bölgelerinde tutulurlar [7].

Termik santrallerinde ortaya çıkan uçucu küller, toksik iz elementleri içerikleri nedeniyle çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Uçucu küller, toprak örtüsü, yüzey ve yeraltı sularını kirlenmesinin yanısıra, atmosfere karışan, genellikle 10 mikrondan küçük kül parçacıklarının insanların solunum sistemlerine ulaşması nedeniyle sağlık açısından tehdit edici sonuçlar yaratabilmektedir. Bu uçucu küllerin büyük bir bölümü doğrudan bertaraf yöntemleriyle uzaklaştırılmakla birlikte, bir kısmı, çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı bulunmaktadır. Ancak, küllerin kullanımına geçmeden önce, element kimyasının çalışması ve sızdırma, geçirgenlik, toksisite gibi özelliklerinin değerlendirilmesi gereklidir. Bu sebeplerden dolayı, jeokimyasal analiz yöntemleriyle küllerin kirletici potansiyellerinin belirlenmesi, uçucu küllerin sadece olumsuz çevresel etkilerin ortadan yok olması veya en az düzeye indirilmesi açısından değil, aynı zamanda kullanım alanlarının belirlenmesi açısından da büyük önem taşımaktadır [7].

3.1.1.3. Uçucu küllerin çimento ve beton üretiminde kullanılması

Günümüzde inşaat sanayiinde artan çimento ihtiyacını karşılamak için katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkılar tras gibi doğal veya cüruf gibi ve uçucu kül şeklinde atık olarak bilinen yapay puzolanlar olabilir. Puzolanik bir malzeme olan uçucu kül, bir katkı maddesi olarak bazı çimento, harç ve beton özelliklerini olumlu olarak etkilemekte ve değerlendirilmesi halinde, çimento üretiminde maliyetlerin düşürülmesi, hammadde kaynaklarından tasarruf sağlanması gibi ekonomik ve ekolojik yararlar sağlamaktadır. Halen Türkiye de kömüre dayalı santrallerin bazı özellikleri ve kül üretim miktarları Tablo 3.4'te verilmiştir [3].

Tablo 3.4. Türkiye’de kömüre dayalı bazı termik santraller ve kül üretim miktarları

Santral	Yeri	Toplam güç, MW	Yakıt. ihtiyacı (ton/yıl)	Kül Oranı %	Uçucu kül miktarı (ton/yıl)	Taban külü miktarı (ton/yıl)
Çatalağzı (A)	Zonguldak	128	650 000	25	130 000	32 5000
Seyitömer	Kütahya	450	3 500 000	35	980 000	245 000
Tunçbilek	Kütahya	429	2 300 000	35	607 200	151 800
Yatağan	Muğla	630	4 200 000	32	1 075 200	268 800
Afşin- Elbistan	K. Maraş	1360	17 000 000	18	2 434 400	680 600
Yeniköy	Muğla	420	3 300 000	43	1 135 200	283 800
Çayırhan	Ankara	300	1 750 000	30	420 000	105 000
Soma(a)	Manisa	44	300 000	35	84 000	21 000
Soma(B)	Manisa	660	4 000 000	41	1 312 000	328 000
Çatalağzı(B)	Zonguldak	300	1 600 000	55	704 000	176 000
Seyitömer*	Kütahya	150	1 375 000	40	440 000	110 000
Orhaneli*	Bursa	210	1 539 000	35	430 000	107 700
Kangal*	Sivas	300	3 600 000	20	576 000	144 000
Soma B*	Manisa	330	3 000 000	52	1 248 000	312 000
Kemerköy*	muğla	630	5 700 000	40	1 824 000	456 000
TOPLAM					13 400 920	3350 200

Uçucu küllerin değerlendirilmesi ve inşaat sektöründe kullanılması amacı ile başta ABD olmak üzere çeşitli ülkelerde ve Türkiye’de çok sayıda çalışmalar yapılmıştır.

Uçucu küllü çimento üretimiyle sağlanacak yararlar üreticinin yararları, kullanıcının yararları ve çevresel yararlar olarak üç ana kategoride toplanır.

Çimento sektöründeki teknolojik gelişmelerin hemen hemen tamamı enerjinin etkin kullanımına yönelik olmuştur. Ön ısıtıcı, ön kalsinasyonlu sistemlerin geliştirilmesinin yanı sıra, en önemli gelişmeler öğütme sistemlerinde olmuştur. Bilindiği gibi, çimento üretiminde kullanılan toplam elektrik enerjisinin %40’ından fazlası öğütme işlemlerinde harcanmaktadır. Bu nedenle, yeni öğütücüler, separatörler, değirmenler tasarlanmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Öte yandan, tüm dünyada çimentoda daha fazla mineral katkı kullanılması yönünde artan bir eğilim bulunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, uçucu küllerin çimentoda kullanılması üreticiler açısından;

- klinkerizasyon enerjisinde tasarruf,
- öğütme enerjisinde tasarruf,
- kurutma enerjisinde tasarruf,
- çevre dostu çabaların ve faaliyetlerin bir diğer göstergesi olması,

- ürün çeşitliliği sağlanması,
- elde edilecek çimentonun olası üstün özelliklere sahip olması gibi nedenler açısından yararlı olacaktır.

Maliyet açısından bakıldığında, kullanılacak olan uçucu kül miktarı ve tipine göre değişecek olmakla birlikte,

- sabit bir mamul madde (çimento) miktarı için daha az klinker üretimi
- tras ve cüruf gibi mineral katkılara kıyasla, zaten ince olan tane boyutları nedeniyle, daha az öğütme enerjisi gereksinmesi
- yine tras ve cüruf gibi katkılarda gerekebilecek ön kurutmaya ihtiyaç göstermemesi gibi sonuçlar uçucu küllü çimento üretimiyle sağlanacak olan olası tasarrufların gerekçeleridir.

Ancak, uçucu küllerin taşıma mesafeleri bakımından da ele alınması gerektiği unutulmamalıdır. Bu açıdan bakıldığında, uygun termik santrallerin yakınına öğütme-paketleme tesisi kurulması olasılığı da ekonomik yararları bakımından değerlendirilebilecek bir husustur [3].

3.1.1.4.Uçucu külle yapılan çalışmalar

Hazır beton üretiminde son yıllarda uçucu külün kullanılması için girişimler başlamıştır. Uçucu kül bağlayıcı değildir. Ancak betonda katkı maddesi olarak kullanıldığında ileri yaşlarda serbest kireçle silikatlar oluşturur, kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olur, hidrasyon ısısı düşer, işlenebilirlik, su geçirimsizliği ve mukavemet artar. Bu uygulama betonun 90 gün ve daha sonraki basınç dayanımını arttırmakla birlikte maliyetini de düşürmektedir [8].

T.Alataş, B.Yıldırım tarafından Afşin-Elbistan Santrali uçucu külün yol stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanımı konusunda yapılan çalışmada deney sonuçlarına göre,Afşin-Elbistan uçucu külü bir mineral katkı maddesi olarak

kullanılabileceğini ve bağlayıcı gibi davrandığını, zemin kireç karışımlarının özelliklerini iyileştirdiği sonucunu elde etmişlerdir [9].

M.S.Akman, M.Erdinç, uçucu küllü betonlarda klor geçirimsizliği üzerine yaptıkları çalışmada, yüksek oranda uçucu kül kullanılması durumunda klor geçirimsizliğinde %50-100'e varan azalma sağladığı sonucuna varmışlardır [9].

Son zamanlarda uçucu külün çevre geoteknolojisi (environmental geotechnology) uygulamalarında kullanımı olanakları araştırılmaktadır. Örneğin zararlı atık/ çöp depolanan sahalarda (landfill) sızdırmazlık sağlamak amacıyla sıkıştırılmış kil yerine sıkıştırılmış C tipi uçucu kül veya uçucu kül / kum karışımının bir alternatif olabileceği önerilmektedir. Uçucu külün özelliklerine ve miktarına bağlı olarak yeterli sıkışma ile ABD şartnamelerinde sağlanması istenen 10^{-7} cm/sn' den daha düşük permaabiliteler elde edilebilmektedir. C tipi uçucu külün sertleşme özelliğinden dolayı arazide sıkışmanın su ile karıştırdıktan sonra süratle gerçekleştirilmesi (veya sertleşmeyi geciktirici katlı maddesi kullanılması) sıkıştırma enerjisi ve su muhtevasının sıkı kontrolü gerekmektedir. Uçucu kül karışımlarının ıslanma / kuruma (wet/dry) ve donma / çözülme (freeze/ thaw) dayanımı, inorganik sıvıların geçirimsizliği olumsuz etkilemesi ve çevre açısından kimyasal etkileşim gibi özelliklerinin de olumlu olduğu tespit edilmiştir.

Eski çöp / katı atık sahalarının ıslah edilerek kullanıma açılması için uygulanan yöntemlerden biri de enjeksiyondur. Kirecin ağır metalleri tutma özelliği, uçucu kül katıldığında dayanımda artış sağlaması çimentoya nazaran daha ekonomik olan kireç- uçucu kül enjeksiyonunun benimsenmesine yol açmıştır. Dekompozisyonu ve dolayısıyla oturmaları devam eden çöp atık sahaları üzerinde inşa edilen beton kaplama veya döşemelerde farklı oturmaların doğurduğu hasarların tamiri için de kireç ve uçucu kül enjeksiyonu uygulanmıştır.

Katı atık sahalarındaki kontaminasyonun yer altı suyunu kirletmemesi için çevresinde düşey geçirimsiz perdelerin oluşturulmasında sıklıkla zemin- bentonit veya çimento-bentonit uygulanmaktadır. Çimento, bentonit, agrega ve su karışımı ile

“plastik beton” tabir edilen malzemenin bu malzemelere üstünlükleri olduğu ve uçucu kül ilavesi ile geçirimsizliğin arttırılabileceği önerilmiştir.

Polonya’da, dayanımı arttırmak, geçirgenliği azaltmak üzere yerli patent konusu olan ve uçucu külün (gerekliyorsa kireç katkılı) seyreltik su camı (sodyum silikat, Na_2SiO_3) eriyiği ilavesiyle sıkıştırılması yöntemi denenmiştir. Su altında da kullanılmasının mümkün olduğu belirtilen benzer bir karışımda da konsantre su camı eriyiği kullanılmakta, su, uçucu kül ve eriyik bulamacı, beton gibi karıştırılarak hazırlanmakta ve dökülmektedir. Ancak bu ikinci malzemenin uygulaması henüz yapılmamıştır. Her ikisinin de esas uygulama alanı atık sahalarının taban, yan ve çevresinde geçirimsiz tabaka / perde teşkilidir. (Yerel şartlarda uçucu kül – su camı eriyiği karışımının, geomembran, sıkıştırılmış kil kullanımı gibi çözümlere nazaran 1/3 – 1/6 maliyet indirimi sağladığı öne sürülmüştür) [10].

3.1.2. Taban külünün inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi

Ülkemizde elektrik enerjisi açığının kapatılmasında, mevcut su kuvveti potansiyelini değerlendiren hidroelektrik santraller ve düşük kaliteli linyit kömürü yakan termik santraller kurulması en tutarlı çözüm olarak görülmektedir.

Bu tür termik santrallerde, enerji üretimi sırasında büyük miktarlarda uçucu kül ve taban külü oluşmakta ve enerji ihtiyacı artışına paralel olarak çözülmesi zorunlu teknik, ekonomik ve çevresel sorunlar da giderek artmaktadır.

Bu önemli uzaklaştırma, depolama ve çevre kirlenmesi gibi sorunları doğuran termik santral taban külünün çimento üretiminde teknik yönden kullanılabilirliği konusuna çözüm getirmek amacıyla, klinkere katılarak veya çimentoya katılarak değişik şekillerde değerlendirilebilirler.

Kazan altından ısıtılarak alındığında nemli olan bu malzemenin, kullanım anındaki su muhtevasının ölçülmesi ve buna bağlı olarak, karışımda kullanılacak su miktarının düzeltilmesi gerekmektedir. Termik santralde oluşan atık malzemenin %15’ini taban külleri oluşturmaktadır.

Taban küllerinin çimento üretiminde kullanılması öğütme veriminde artış ve çimento maliyetinde azalma sağlaması bakımından yararlar sağlamaktadır. Ayrıca bu tür çimentolarla üretilen betonların hidratasyon ısısını azaltma, işlenebilirlik ve dayanıklılıkta artış sağlamaktadır.

Termik santral taban küllerinin klinkere katılarak birlikte öğütülmesi halinde cürufu çimento elde edilir. Taban küllerinin beton üzerinde iyileştirici olan etkileri, bu tür çimentolar vasıtasıyla da elde edilebilir.

Bu tür çimentoları üretiminde termik santral taban külleri, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi klinkerin öğütülmesini kolaylaştırarak, fabrikanın üretim kapasitesini artırır. Ancak taban küllerinde yanmamış pulverize kömür olabileceğinden çimento hammaddesi olarak kullanılması ekonomi ve dayanıklılık açısından daha uygun olacaktır. Çünkü yanmamış kömür metallerin aşınmasına ve paslanmasına sebep olacağından, metal yapıların yanında kullanılmamalıdır.

Termik santral taban küllerinin çimento üretiminde kullanılması hususundaki çalışmalar uçucu kül ve yüksek fırın cürufuna göre çok azdır.

Seyitömer Termik santrali taban külü üzerinde TS'lerine uygun fiziksel deneyler yapılmıştır [3].

3.2. Atıksu arıtım çamurunun inşaat malzemesi olarak kullanılması

Kentsel atık su arıtımı sonucunda ortaya çıkan çamurların uzaklaştırılması için düzenli ve düzensiz depolama, tarımda kullanma, yakma, okyanusa ve denize boşaltma yaygın olarak uygulanan yöntemlerdir. Ancak bütün bu alternatiflerin çevreye çeşitli şekillerde etkileri mevcuttur. Özellikle büyük metropol kentlerde suyu alınmış çamurların yakılması güvenli bir alternatif çözüm olarak ele alınmaktadır.

Avrupa, dünyanın diğer yerlerinde olduğu gibi atık su arıtım standartları daha katı hale geldikçe uzaklaştırılması gereken artan hacimlerdeki çamur problemleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Avrupa'da yılda 6 milyon tonun üzerinde kuru çamur ortaya çıkmaktadır ve 2000 yılında bu miktarın iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir.

Atıksu arıtımı ve uzaklaştırılmasının maliyeti kurutulmuş çamurun tonu başına 1 00-300 (pound) sterlin arasında değişmektedir .Tablo 3.5' de çeşitli Avrupa ülkelerinde ortaya çıkan atıksu artım çamurlarının miktarı ile birlikte uyguladıkları uzaklaştırma yöntemleri görülmektedir [9].

Tablo 3.5. Avrupa Atıksu Çamurlarını Nasıl Uzaklaştırıyor

Ülke	Çamur Miktarı(ton*1000/yıl)	Uzaklaştırma Yöntemleri			
		ziraat	landfill	yakma	Diğer
Avusturya	320	13	56	31	0
Belçika	75	31	56	9	4
Danimarka	130	37	33	28	2
Fransa	700	50	50	0	0
Almanya	2500	25	63	12	0
Yunanistan	15	3	97	0	0
İrlanda	24	28	18	0	54
İtalya	800	34	55	11	0
Lüksemburg	15	81	18	0	1
Hollanda	282	44	53	3	0
Portekiz	200	80	13	0	7
İspanya	280	10	50	10	30
İsviçre	215	60	30	20	0
İngiltere	1075	51	16	5	28
Toplam	6631	38	43	10	9

ABD'de 1984 yılında yapılan bir araştırmaya göre yılda yaklaşık olarak 7 milyon tonun üzerinde kentsel çamur katı maddesi hasıl olmaktadır. Hali hazırda, bu çamurların % 25-30 oranındaki kısmı yakılmak suretiyle 500.000 tonun üzerinde bertaraf edilmesi gereken çamur külü ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde ise İstanbul metropolitan bölgesi için İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından yapımı planlanan veya yapılmakta olan biyolojik pis su arıtma tesislerinden çıkacak çamurların yakılması amacıyla Avrupa yakasında Balta limanı ve Küçükçekmece'de, Asya yakasında ise Riva ve Tuzla'da sabit ve akışkan yakıtlı

çamur yakma tesisleri planlanmış bulunmaktadır. Bu tesislerde oluşacak çamur külünün de uzaklaştırılması gereği vardır.

Atıksu arıtım çamurları ham, çürütülmüş, suyu alınmış veya yakılmış durumda büyük ölçekli ekonomik değer taşıyan bir şekilde kullanılabildiği takdirde çamur uzaklaştırma probleminin önemli ölçüde azaltılması mümkün olabilecektir.

Geçtiğimiz yıllar içerisinde çeşitli araştırmacılar atık su çamurlarının inşaat malzemesi olarak kullanımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Alleman ve Berman çamuru kil ile karıştırmak suretiyle tuğla "Biobrick" üretiminde kullanmışlardır. Aynı zamanda, Tay , tuğla üretimi çamura ağırlık olarak maksimum yüzde 40 oranında kil katılabileceğini göstermiştir. ABD'de Kaliforniya San Diego Bölgesi su idaresi atıksu arıtım çamurunu kil ile karıştırmak suretiyle hafif agrega üretimi,için kullanan yeni bir atıksu arıtma tesisi inşa etmiştir. Bu tesiste, ızgaradan geçirilen evsel atıksuya kil ve alum ilave edilip karıştırılarak koagülasyon ve flokülasyonu sağlanmıştır. Çökeltme tankından alınan çamur % 45 katı konsantrasyonuna kadar koyulaştırılmıştır. Daha sonra, çamur keki kil ile karıştırılarak meydana getirilen pelletler 1070-1095 °C arasındaki sıcaklıklarda pişirilmiştir. Bu süreçte elde edilen ürün dayanıklı seramik benzeri bir malzemedir ve ASTM standartları 330-85 (İnşaat Betonu İçin Hafif Agrega Standart Spesifikasyonu) hafif beton agregası standardını sağlamıştır [9].

Tay, atıksu arıtım çamurunun yakılmasıyla elde edilen külü tuğla yapımında kullanmış ve öğütülmüş çamur külünün kil ile % 50 oranında karıştırılabileceğini ancak karışımdaki çamur külü miktarının daha fazla artırılmasıyla karışımın bağ kuvvetleri zayıflayarak tuğla geometrisinde bozulmalar meydana gelmiştir. Öğütülmüş çamur külü beton içerisinde filler olarak çimentonun bir kısmı yerine ve hafif agrega üretiminde de kullanılmıştır [9].

Çamur külünün çimento yerine artan oranlarda kullanılmasıyla taze betonun işlenebilirliğinin arttığı gözlenirken betonun segregasyon, rötre ve su absorpsiyonu üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir. Çamur külü oranındaki artış betonun basınç mukavemetinin azalmasına neden olurken, çimentonun % 10' u yerine çamur külü kullanıldığında beton basınç mukavemeti artışının şahit betona yakın olduğu

görülmüştür [9].

Tayvan'da Chich-Huang Weng, Deng-Fong Lin ve Pen-Chi Chinang tarafından yapılan araştırmada endüstriyel atıksu işlemlerinden toplanan çamurların (kurutulmuş) tuğla yapımında kullanılabileceğini göstermektedir. Tuğla kalitesi özellikle çamurun karışım oranı ve yakma sıcaklığına bağlıdır. Çamur hacminin artmasıyla tuğlanın büzülmesi, su absorpsiyonu ve kompres gücü azalmıştır. Sonuçlar çamur içeriğinin pişirme prosesinde tuğlanın yanma ısısı üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Tuğlanın toksik özelliklerinin tespiti amacıyla yapılan testlerde metal seviyesinin düşük olduğu görülmüştür. Tablo 3.6'da içeriği verilen çamur için yapılan çalışmada optimum nem miktarı %24 olmakla birlikte tuğladaki çamur oranı % 10 olarak tavsiye edilmektedir. Biçimlendirilmiş karışımın 880-960 °C arasında pişirilmesiyle iyi kalitede tuğla elde edilebileceğini göstermiştir [11].

Tablo 3.6. Çamur ve kilin karakteristik özellikleri [11]

Karakteristik özellikler	Atık Çamur	Kurutulmuş Çamur	Kil
pH	7.19	7.27	8.09
Yoğunluk (g/m ³)	1.16	1.75	2.52
Uçucu madde (%)	56.9	61.3	5.9
Nem oranı (%)	84.1	41.0	1.4
Metaller (mg/kg)			
Cd	3	5	<0.1
Cr	537	1.713	16
Cu	29	212	85
Co	10	24	5
Fe	5265	18 070	8530
Ni	167	1131	20
Pb	3	35	<0.1
Zn	264	628	98

B.Onat, A.Uğurlu, beton yapımında kullanılan çimentoyu değişik oranlarda azaltarak yerine bu oranlarda azaltılmış çimento ağırlığı kadar atıksu arıtım çamuru külü ilave

etmişler ve bu şekilde elde edilen betonların basınç mukavemetleri ile birlikte priz süreleri, işlenebilirlik, su absorpsiyonu, permeabilite vb. özelliklerini araştırmışlar ve şu sonuçları elde etmişlerdir.

- 1- Çamur külünü kullanarak üretilen betonlarda priz başlangıcı ve priz sonu süreleri uzamaktadır .
- 2- Beton karışımındaki su muhtevası sabit tutulduğunda, çamur külünün artan oranlarda kullanımı çökme (slump) ve sıkıştırma faktörü gibi taze beton kıvam deneyleri ile ölçülen betonun işlenebilirliğini azaltacak yönde etkilediği görülmüş.
- 3- Çamur külü kullanarak üretilen betonların basınç dayanımları, çamur külsüz betonların aynı yaşlardaki basınç dayanımlarına yakındır. % 20 oranında çamur külü kullanılan betonların 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonu dayanımının %94' ünün üzerindedir. Çamur külü ve kül kullanılmayan betonların basınç dayanımları arasındaki farkın ileri yaşlarda çok daha az olduğu görülmüştür.
- 4- Çamur külü kullanılan betonların su absorpsiyonunun kontrol betonunkine nazaran daha düşük düzeyde olduğu görülmüştür.
- 5- Çamur külünün artan oranlarda kullanımının sertleşmiş betonun birim ağırlığı üzerine önemli ölçüde bir etkisi görülmemiştir.
- 6- Çamur külü kullanımının betonlarda permeabiliteyi azalttığı görülmüştür.

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar öğütülmüş çamur külünün çimento ile karıştırılmak suretiyle beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir [9].

3.3. Mermer atıklarının inşaat malzemesi olarak kullanılması

İç tüketim ve dış satımın artması nedeniyle, son yıllarda mermer işleme tesislerinin sayısında önemli artış gözlenmiştir. Buna paralel olarak, mermer üretiminden geriye kalan mermer parçaları ve tozlarının miktarında da artış görülmektedir [9].

İnşaat sektörün de gerek mimari görsel açıdan, gerekse kaplama malzemesi olarak sektörde vazgeçilmez bir yeri olan mermeri, üretim aşamasında ve tesislerde işlenmesinde ortaya çıkan tozların ve parçaların değerlendirilmesi sürekli olarak gündemdedir [12].

Mermer bloklarının kesimi sırasında yaklaşık 7 -8 milimetrelilik bir kısım toz haline dönüşmektedir. Genellikle, 2-3 cm kalınlıkta plaka üretimi de dikkate alındığında, oluşan toplam toz miktarı işlenen mermerin %30'u civarındadır [9].

Mermer işleme tesisleri, üretimin artmasına paralel olarak atık toz miktarının artması sonucu, bunları atacakları alan konusunda zorluk çekmeye başlamışlardır. Ayrıca, bu tozlar çevre için de sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle bu atık malzemenin değerlendirilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Mermer atıkları parça boyutu olarak işleme tesislerinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Bunlar [12]

1. İri boyutlu parça mermer atıkları
2. Kolloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm' ye ulaşabilen kesim toz atığıdır.

Tablo3.7. Mermer Atıklarının Değerlendirilme Alanları

Toz Mermer Atıkları	Parça Mermer Atıkları
Sıva Malzemesi Çimento Üretimi Kireç Üretimi Kalsine Dolomit Üretimi Curuf Yapıcı Madde Refrakter Malzeme	Beton Agregası Döşeme Plağı Agregası Sıkıştırılmış Yol Zemini Baraj+İnşaatlarda dolgu malzemesi Demiryolu zemin Malzemesi

İri boyutlu parça atıklar inşaat sektöründe yapı elamanı olarak kullanabilirken, toz atıklar ise direkt olarak farklı sektörde de kullanılabilir. Bu iki tür atığın değerlendirilebildiği alanlar ise ;

3.3.1. Parça mermer atıklar

Beton agregası ,
 Döşeme plağı agregası ,
 Sıkıştırılmış yol zemini ,
 Baraj+inşaatlarda dolgu malzemesi ,
 Demiryolu zemin malzemesi ,
 Paladyen-yer döşeme malzemesi gibi ,

3.3.2. Toz mermer atıkları

Zirai kireç taşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı ,
 Yem ve mineralli besinler ,
 Sıva malzemesi ,
 Çimento üretimi ,
 Kireç üretimi ,
 Kalsine dolomit üretimi ,
 Curuf yapıcı malzeme ,
 Refrakter malzeme ,
 Asit nötürleştirmeden ,
 Cam üretiminde ,
 Kağıt üretiminde ,
 Şeker rafinasyonunda ,
 Baca gazından kükürdün giderimin de gibi farklı alanlarda değerlendirilmektedir.

3.3.3. Dolgu stabilizasyonunda mermer atıklarının değerlendirilmesi

İnşaat sektöründe, barajlarda , dolgu malzemesi olarak ve maden işletmelerinde parça ve toz mermer değerlendirilebilir. Kullanılabilecek en uygun dolgu karışım yapısı, mümkün olduğunca elastik özellik sergileyen, düşük çimento dozajlı, fiberli karışımlı yapılardır.

3.3.4. Mermer toz atıklarının yalıtım tuğlası olarak değerlendirilmesi

Refrakter tuğla üretiminde katkı maddesi olarak mermer atık tozları kullanılabilir. Karbondioksit kaybettikten sonra kalsiyum oksit katkı maddesi olarak görev yapan atık toz ,silika tuğlada silika tanelerinin ergime sıcaklığını düşürerek yaklaşık olarak 1450°C sıcaklıkta bir miktarı sıvı ürün oluşmasına ve bütünleştirmeye sağlar. Mermer atık tozu , bünyesinde Al_2O_3 içerecek olursa , alüminanın artan miktarı refrakter tuğlada yüksek sıcaklıklarda sıvılaştıran madde miktarını arttıracaktır. Bu nedenle silika tuğlaların %0.1-0.2 Al_2O_3 lü olanları daha kaliteli olmaktadır.

3.3.5. Porselen üretiminde kullanımı

Mermer toz atıkları porselen yapımında da kullanılmaktadır. Ancak bu üretimde kullanılacak atık tozlarının çok az miktarda demiroksit içermesi gerekmektedir. Kemik porselen üretiminde ise kemik külü yerine mermer atık tozu da kullanılabileceği düşünülmektedir. Mermer atık tozu kemik külü yerine kullanıldığı zaman bu kullanım miktarı daha da artmaktadır.

3.3.6. Sır maddesi olarak kullanılması

Mermer atık tozları , bünyesinde bulunan CaO ve SiO_2 yüzdelere bağlı olarak sır hammaddesi olarak kullanılabilir. Mermer atık tozu , kalsine olarak CaO bazik oksit (RO) gurubunu teşkil eder. Bu da sırda camlaştırıcı bir etki yapmaktadır. Sırın yapısında CaO miktarının artırılması ile sırın yüzey sertliği de artar. Sırda siyah lekelerin oluşmaması için kalsine mermer atık tozlarının manyetik ayırıcılardan geçirilerek temizlenmesi gerekir. Ayrıca, sır renklendirici pigment olarak (sır tozu) aphe ($CaO.SnO_2.SiO_2:Cr_2O_3$) pigmenti içerisinde çok ince boyuttaki kalsine mermer atık tozu değerlendirilebilir.

3.3.7. Plastik sanayiinde dolgu malzemesi olarak kullanılması

Plastik sanayiinde dolgu hammaddesi olarak mermer toz atıkları , talaş , asbest ve sentetik dolgu hammaddeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Kullanılan mermer toz

atıkları yumuşak plastik malzemeleri daha dayanıklı , elastik , yüksek sıcaklıklara dayanımlı ve sert malzemelere %45 oranında mermer tozu kullanılabilir.

3.3.8. Kireç , kalsine dolomit üretiminde kullanılması

Mermer atık tozları kireç ve dolomitik kireç olmak üzere kalsinasyon ürünleri elde etmek için de kullanılır. CaO miktarı yüksek atıklardan ve kireç taşlarından üretilmektedir. Kirecin üretildiği kireçtaşları ve mermer atık tozları %5 den fazla MgO içeriyorsa bunların kalsinasyon ürünlerine dolomitik kireç denir.

3.3.9. Çimento üretiminde kullanılması

Çimento sanayinde 1-200 boyutunda Portland çimentosu üretiminde mermer atık tozlarının kullanılması boyut açısından oldukça uygun ve ekonomik olmaktadır.

Birçok-ülkede uzun süredir kalker, çimentoda minör ilave bileşen ve katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca çimentoya kalker ilavesi betonun kalitesinde ve işlenebilirliğinde iyileşmeler sağlamakta, atmosferik karbonatlaşmanın zararlarını azaltmaktadır [9].

Atık mermer tozları, Avrupa çimento standartlarında minör ilave bileşen ve/veya katkı malzemesi olarak kullanılacak kalkerden istenilen gereklilikleri yerine getirmektedir.

A.S.Bayoğlu ve M.Kavas yaptıkları çalışmada endüstriyel çapta üretilen çimentolara farklı oranlarda mermer tozu ilavesiyle elde edilen çimentoların kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş ve mermer tozlarının minör ilave bileşen olarak kullanıldığında, basınç dayanımlarında bir iyileşme olduğu sonucuna ulaşmışlardır [9].

3.4. Plastik ve lastiklerin inşaat malzemesi olarak kullanılması

Günümüzde atıkların değerlendirilmesi en cazip uygulamalardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Lastik ve plastik atıkların başda ABD olmak üzere çeşitli ülkelerde yol üst yapımında kullanılmasına rastlanmaktadır. Böylece hem lastik ve plastik atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte ve hem de bu atıklar kullanılarak asfalt kaplamaların özellikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, atıkların bu şekilde kullanılmasıyla ülke ekonomisine de katkıda bulunmaktadır [9].

A.B.D' de her yıl 240 milyon adet üzerinde araba lastiği, 45 milyon adet üzerinde kamyon lastiği birikmektedir ve her yılda 188 milyon atık lastik stok edilmektedir. Bu sebeple, Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından kurulan ve yaklaşık 2 ile 3 milyon kapasiteli lastik stok alanları yetersiz kalmaktadır .1980 yılının ortalarına kadar bu lastiklerin yakılması yoluna gidilmiş, fakat bunun sonucunda ortaya çıkan yağ ve kurum hava, su ve zemin kirliliği meydana getirmiştir. AB.D' de ortaya çıkan bu lastik birikimini eritmek için alternatif çareler düşünülmüş ve parçalanan hurda araba lastiklerinin yol dolgularında, kaplama alt malzemesi olarak, dalgakıranlar, istinad duvarları ve çarpma bariyerlerinde hafif agrega olarak ve sıcak karışım asfalt kaplamalarında modifiye malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır [9].

Türkiye'de 1988-1994 döneminde yurt içi lastik talebinin yıllık ortalama %58 civarında artış göstereceği ve yeni lastik talebinin 7.5 milyon adete yükseleceği tahmin edilmektedir. Ülkemizde kullanılmış lastiklerin büyük bir kısmı yenilenmektedir Atık durumunda olan lastikler ise, ülkemizde % 11 oranında bir paya sahip olan rejenere kauçuk imalinde kullanılmaktadır. Rejenere kauçuk sanayisi atık lastik birikimini engellemektedir.Ülkemizde gerek ihtiyacın azlığı ve gerekse rejenere kauçuk üretiminde değerlendirilmesinden dolayı atık lastik miktarı çevre sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmamıştır. Fakat, Türkiye'de son yıllarda otomobil üretiminin artması ve rejenere lastiğe gösterilen talebin azalmasıyla ülkemizin, ABD'nin karşılaştığı sorunlarla karşılaşabileceği unutulmamalıdır.

Plastik malzemeler yaşantımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Avrupa genelinde katı atıkların %5-%9'unu plastik atıklar oluşturmaktadır Avrupa birliğine bağlı

lkeler 1980-1989 arasında %35'ten %78'e varan tüketim artışı rapor etmişlerdir. Atıkların enerji dönüşümlü olan kontrollü yakma ile imhaları söz konusu ise de, genellikle gömülmektedir. Kullanım sonrası plastik atıklar tüm plastik atıkların %92'sini oluşturmaktadır. Bu kullanım sonrası atıkların %8'i geri dönüşümde kullanılmakta ve % 17'si kontrollü olarak yakılmaktadır.

Ülkemizde imal edilen asfalt beton kaplamaların performansı oldukça düşük ve kullanım ömrü kısadır. Asfalt kaplamalar üzerinde yapımdan kısa bir süre sonra çatlak ve deformasyonlar meydana gelmekte ve bunların giderilmesi oldukça masraflı olmaktadır . Sıcak havalarda bitümlü tabakaların dinamik sertliği azalmakta ve böylece alt tabakalara yüksek gerilmeler aktarılmaktadır. Y ollarda meydana gelen bu çatlak ve deformasyonlar yeterli kalitede malzeme kullanılmaması, yol alt yapısının ve üst yapının standartlara uygun inşaa edilememesi veya yol ulaşıma açıldıktan sonra taşıtların belirlenen yk sınırını aşmaları, yol bakımlarının yeterince iyi yapılamaması gibi nedenlere bağlanabilir. Bu sebeplerle, asfalt yol kaplamalarının bazı özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Bunun içinde takviye malzemeleri olarak, ülkemiz ve diğer ülkeler için evre kirliliği meydana getiren veya ileride karşımaa çevresel sorun oluşturunacak lastik ve plastik atıklar kullanılmıştır [9].

Endüstriyel atıkların beton teknolojisinde kullanılır hale getirmek ve betonun elastik özelliklerini geliştirmek amacıyla betona atık oto lastiği parçaları ilave edilmiş ve elde olunan bu yeni malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Burada lastik ilavesi ile amaç betonun esneklik, süneklik ve enerji yutma kapasitesini arttırmaktır. Bu betonun ani çarpmalara maruz kalan yük taşımayan otoyol emniyet bariyerleri için ideal bir malzeme olacağı düşünülmektedir [10].

İçine lastik katılmak suretiyle elde edilen betonların enerji yutma kapasitesi, tokluk, rezilyans ve ses yalıtımı gibi özelliklerinin arttığı görülmektedir. Betonun içine lastik katmak suretiyle sünekliğinin dolayısıyla da enerji yutma kapasitesinin arttırılması bu betonların kullanılacağı otoyol bariyerlerinde araçların beton korkuluklara yapacağı çarpma etkisi altında oluşacak hasarı büyük ölçüde azaltabilecektir. Ayrıca betona lastik ilavesi ile ses yalıtım özelliği de yükseltilmekte böylece araçların gürültülü sesleri ve meydana getirdikleri evre rahatsızlığı da bu betondan yapılacak

gürültü bariyerleri ile giderilebilecektir.

Betonun sünekliğini arttırmak amacıyla, kullanıldıktan sonra atılan ve herhangi bir kullanım alanı bulunmayan oto lastiği parçaların kullanılması çevre kirliliğini azaltmak açısından da yararlı olacaktır. Atık oto lastiklerinin yakılmak suretiyle yok edilmeye çalışılması çevre kirliliğine sebep olmakta, ayrıca yakıldıktan sonra yine kirlilik oluşturan küller kalabilmektedir. Lastik malzemenin beton ile kullanımı bu tür problemleri ortadan kaldırdığı gibi lastik depolanan yerlerin toprakla teması esnasında oluşan zararlı haşaratın gelişmesini de engelleyebilecektir.

Otoyollarda seyreden araçların yoldan çıkmalarını ve kazalara sebebiyet vermelerini önlemek amacıyla ya çelik yada betondan yapılmış korkuluklar kullanılmaktadır. Trafik ve karayolu teknolojisindeki gelişmelerle kazaları önlemek için konuya ciddi bir şekilde yaklaşan ülkeler 1950 den itibaren ilk önlem olarak çelik korkulukları uygulamaya koymuşlardır. Ancak tüm çabalara rağmen bu önlemlerin kazaları önlemede etkinliğini % 20 nin üzerine çıkarmak mümkün olmamıştır. Ayrıca çelik oto korkuluklarının bakım, onarım, işletim masrafları da çok külfetli olmaktadır. Daha etkin ve daha ekonomik bir oto korkuluk türü araştırılmaya başlanması beton oto korkulukların çelik oto korkuluklara göre kaza sayısını % 60 oranında azalttığını ve ayrıca ölümlü, yaralanmalı kaza sayısında da büyük düşme olduğunu göstermiştir.

Bununla beraber özellikle Avrupa ülkelerinde otoyol kenarlarına yapılan beton perde duvarlar araç gürültülerini önlemede en çok kullanılan ve en ekonomik çözüm olmaktadır. Fransa'da ses bariyerlerinin % 60'ı prefabrike beton elemanlardır. Ses bariyerlerinin gürültüyü en az 25 dB azaltması istenir. Beton ses bariyeri genelde 40-50 dB'lik bir ses geçirimsizliğini sağlamaktadır.

Genelde prefabrike olarak imal edilen bu beton oto korkulukların sağladığı yararlar yanında yüksek rijitlikleri nedeniyle bir takım dezavantajları da vardır. Trafik kazalarında çarpma anında oluşan ve tamamı taşıt tarafından alınan çarpma enerjisinin bir kısmı beton korkuluk tarafından absorbe edilebilirse kaza anındaki ölüm ve yaralanma olayları azalacaktır. Bu betonun daha elastik ve enerji yutucu hale getirilmesiyle sağlanabilecektir. Bu özellik kullanılmış oto lastiği parçalarının

betona lastik agrega olarak katılmasıyla hem basit hem de ekonomik bir şekilde sağlanabilecektir. Ayrıca çevre kirliliği yapan bir malzemede ortadan kaldırılacaktır.

Lastiğin sünek bir özelliğe sahip olması, bu özelliği eksik olan betonla birleşince daha üstün özellikli bir kompozit malzeme oluşmasına yardımcı olacaktır. Betona kazandırılacak elastik özellik kaza anında oluşacak çarpma enerjisinin bir kısmının beton tarafından yutulmasını sağlayacaktır. Ayrıca lastiğin beton ile karışmasından oluşan kompozit malzeme içinden geçen sesin hızı, lastiğin ses yalıtım özelliğinden dolayı düşük olacaktır. Çünkü sesin havada 340 m/sn, betonda 4000 m/sn ve lastikte ortalama 100 m/sn hızla yayıldığı bilindiğinden, lastiğin beton için ses yalıtımı bakımından çok yararlı olacağı anlaşılr.

Hava etkili seslerin emilmesinde Alman DIN 4109 yönetmeliğinde kullanılacak ses kesici panoların en az 350 kg/m² lik ağırlığa sahip olması istenmektedir. Betonlarda kaba agrega olarak kullanılan kırmataş ve çakılın bir kısmı yerine uygun kaba agrega dane boyutlarında kesilmiş lastik parçalarının konması ile yukarıda sözü edilen özellikler de elde edilebilmektedir. Beton agregasına göre daha düşük yoğunluğa sahip olan lastik ilavesiyle betonun birim ağırlığı, dolayısıyla yapının zati yükünün azaltılması imkanı ortaya çıkmaktadır. Çizilen U-C diyagramlarında eğrinin alçalan kolunun normal betonların aksine oldukça düşük bir eğimle azaldığı böylece eğri altında oldukça büyük bir alan kaldığı görülmüştür. Bu da onun enerji yutma kabiliyetinin büyük olduğunu göstermektedir [10].

Normal betonlara basınç uygulandığında akmayı takiben ani bir gevrek kırılma görülmektedir. Çatlak oluşumu ani olarak meydana gelmekte ve kırılma patlama şeklinde danelerin saçılmasıyla devam etmektedir. Sonuçta basınç eksenine 45° açı yapacak şekilde bir kırılma oluşmaktadır. Lastik agregalı betonların maksimum taşıma güçleri normal betonlara göre daha düşüktür fakat numunede basınç anında ilk çatlama yavaş ilerlediğinden sürekli takip edilebilmekte, lastik ilavesiyle kazanılan düktilite etkisiyle malzemeyi kırmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Kırılan parçalar ana kütlede oldukça yavaş dökülmekte, zamanın ilerlemesiyle numunede basınca maruz metallerdeki gibi fıçılama şekli meydana gelmektedir. Uzunlamasına oluşan kırılma liflerin zamanla birbirinden iyice

ayrılması sonucunda malzeme normal betonlarınkinden daha uzunca bir süre sonunda kırılmaktadır.

Lastik agregalı betonların özelliklerini incelemek amacıyla yapılan statik deneylerden sonra, darbelere karşı etkinliğini incelemek amacıyla bir seri dinamik deneyler yapılmıştır. Daha çok otoyol korkuluklarında kullanmak amacıyla üretilecek lastik agregalı betonların darbelere karşı dayanımlarının bilinmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi araçların korkuluklara yaptığı ani darbeler dinamik etki olmaktadır.

Lastik agregalı betonlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Lastik agregalı beton fikri ilk defa Amerika'da Clemson Üniversitesinden Profesör Rad ve Lehigh Üniversitesinden Profesör Fang ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır. Lastik ilave etmek suretiyle elde edilen betonların yüksek rezilyans, tokluk ve kırılma yüzey enerjisine sahip oldukları Profesör Rad tarafından söylenmiştir [7].

Dayanımdaki azalmaya karşılık betonun lastik ilavesiyle daha elastik hale geldiği Profesör Rad ile Profesör Fang'ın yapmış olduğu çalışmalardan anlaşılmaktadır. Profesör Fang ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada beton karışım içine % 10, % 30 ve % 57 oranlarında kaba agrega ile yer değiştirerek 2.54 cm (1 inç) çapında lastik parçaları katılmıştır. Normal beton karışım içine % 10 oranında lastik ilavesiyle 219, % 30 ilave ile 55, % 57 ilave ile 35 kg/cm² küp basınç dayanımı olan lastikli betonlar elde etmişlerdir. Bu sonuçlar beton karışımı içine % 23 civarında lastik ilavesi ile ülkemizde BS16 olarak bilinen taşıyıcı özelliği olan betonun üretilebileceği fikrini uyandırmaktadır. Yine eğilme dayanımları ile ilgili olarak yaptıkları çalışmada aynı oranda lastik ilaveleri ile 99, 46 ve 32 kg/cm ilk eğilme dayanımları bulmuşlardır.

Anadolu Üniversitesi beton laboratuvarlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda da lastik agregalı betonların dayanımlarının düşük fakat rezilyans ve tokluk değerlerinin normal betonlardan yüksek olduğu görülmüştür [10].

A.Yüceler ve O.N.Çelik tarafından, çevreye zarar veren atık plastiklerin değerlendirilmesi ve polimer kaynağı olarak kullanılması konusunda yapılan

çalışmada, Marshall deneyinde asfalt betonuna katkı malzemesi olarak granüler polimer ve atık sert plastikler kullanılmış ve çalışma sonucunda asfalt betonu ve polimer karışımı ile elde edilen malzemenin asfalt betonuna nazaran daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır [13].

M.Tuncan, A.Çetin, A.Tuncan tarafından yapılan çalışmada kullanılmış otomobil lastikleri ve plastik atıkların sıcak asfalt kaplaması üzerine etkileri araştırılmış. Lastik ve plastik ilave edilen bitüm kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde Marshall stabilitesi ve indirek çekme deneyleri yapılmış ve sonuçta lastik parçalarının boyut ve miktarları arttıkça Marshall stabilitesi değerinin azaldığı, akma değerinin ise arttığı görülmüş, plastik ilaveli numunelerin Marshall stabilitesi ve indirek çekme dayanımları artmış, akma miktarı ise azalmıştır. Ayrıca plastik ilavesinin lastik ilavesine nazaran numunelerin mukavemetini büyük ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır [9].

3.5. Bor atıklarının inşaat malzemesi olarak kullanılması

Türkiye de madenciliğin gelişmesine rağmen, bor bileşikleri üretilen teknolojinin mükemmel olmaması yüzünden borlu atıkların (katı ve sıvı) artması; modern teknolojide çok çeşitliliği açısından dünyada birinci sırada yer alan, geniş kullanım alanları ile insanlığın bugünkü ve gelecekteki yaşamlarında vazgeçilmez bir hammadde olarak önemi gittikçe artan, uluslararası pazarlarda aranılan, borun kaybına neden olmaktadır. Kırka Boraks İşletmesinde yılda 1.5 milyon ton %27-33 B_2O_3 tenörlü ham tınkal cevheri üretilmektedir. Bunun yanında yaklaşık 4 milyon ton birikmiş katı atık birkaç gölete basılmaktadır ve yararlı toprak sahasını işgal ederek çevre ve çevredeki bitkileri faydasız duruma getirmektedir [1].

Günümüzde zenginleştirme tesis atıklarından yararlanmak veya eğer bu mümkün değilse en uygun biçimde bertaraf etme yoluna gidilmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesi hem ekonomi hem de çevre açısından önemlidir. Bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili olarak ülkemizde araştırma aşamasında olan ve laboratuvar çapta başarı sağlanan birçok çalışma mevcuttur [14].

Kırka Boraks işletmesi atık killeri tuğla yapımında kullanılabilirliği E.Sönmez ve S.Yorulmaz tarafından çalışılmış ve atıkların belirli oranlarda normal kile karıştırılarak nitelikli tuğla yapımında kullanılabileceği anlaşılmıştır.

H.Sur ve arkadaşlarının yaptığı araştırmaların sonucunda değişik bor atıkları ilavesiyle daha iyi özelliklerde tuğla yapımının mümkün olduğu anlaşılmıştır [1].

Etibank Kırka Boraks işletmesi atıklarının Turgutlu killeriyle birlikte tuğla yapımında kullanılması M.Çolak tarafından araştırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. %50 atık malzeme ve %50 kilden oluşan karışımın 900°C de pişirilmesiyle elde edilen tuğlaların normal tuğlaya göre daha nitelikli olduğu gözlenmiştir [15].

Kavas ve Emrulloğlu, Seydişehir kırmızı çamuru ile Kırka bor atık killeri değişik oranlarda karıştırarak yüksek mukavemetli ve düşük su emme özelliğine sahip kaliteli tuğla imal etmişlerdir. Bu karışımın endüstriyel hammadde olarak, seramik ve inşaat sektöründe kullanılabileceği belirtilmiştir [1].

Boncukoğlu ve arkadaşları Etibank Bandırma Borik Asit tesislerinde temin edilen borojips ve reaktör atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Klinkere çeşitli oranlarda borojips ve boraks atığı katılarak elde edilen çimentonun birim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanım değerlerini bulmuşlar ve bu değerleri standart değerler ile karşılaştırmışlardır. Borojipsin çimento üretiminde klinkere normal jips yerine katılabileceği sonucuna varmışlardır.

Kütahya-Emet Espey'de bulunan konsantratörün 25 mm elek altı atığı ile atık göletinden alınan numunelerin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi araştırılmış, bu amaçla farklı oranlarda atık, portland ve traşlı çimento içerisine katılarak fiziksel ve kimyasal çimento testleri yapılarak, bu atıkların çimento üretimi için bir katkı maddesi olabileceği saptanmıştır.

Endüstriyel borik asit atıklarının ham perlit agregalı hafif beton üretiminde değerlendirilmesi incelenmiş, borik asit atığı katılarak hazırlanan beton numuneleri

ile sadece ham perlit agregası kullanılan beton numunelerinin mukavemetleri karşılaştırılmış ve borik asit atığının beton mukavemetini değiştirmediği gözlenmiştir.

M.Özdemir ve arkadaşları boraks tesisi katı atıklarının çimento üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır, bu amaçla Etibank Kırka Boraks Tesisinden alınan kil pestili çeşitli oranlarda klinkere ilave edilmiş, kil pestili oranının %5'den fazla olmaması gerektiği ve böylece boraks tesisinden katı atık olarak oluşan kil pestilinin çimento üretiminde minör bileşen olarak kullanılabileceği belirlenmiştir [16].

İ.Kula, Kütahya-Emet-Hisarcık yöresindeki kolemanit konsantratör atıkları ve Eskişehir-Kırka yöresindeki tinkal konsantratör atıkların Kütahya-Seyitömer Termik Santrali atıkları (uçucu kül ve taban külü) ile birlikte değerlendirilmesini araştırmış, bu çalışmada söz konusu atıklar çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmıştır.Katkıların çimentonun priz süresi, hacim genleşmesi,basınç dayanımı, öğütme süresi gibi özellikleri üzerine etkileri incelenmiş.Çimento karışımlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin TS' ye uygun olduğu görölmüştür. Böylece bu çalışmada kullanılan katkıların çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabileceği bulunmuştur [17].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneylerde Kullanılan Materyaller

Deneylerde portland çimentosu, borik asit, kil pestili, katran, perlit, sıvı cam, standart kum ve su kullanılmıştır.

4.1.1 Portland Çimentosu

Bu çimentolar katkısız çimentolardır. Hammadde karışımının pişmesi sonucunda elde edilen klinkerin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Çalışmalarda kullanılan portland çimentosu, İzmit Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'den elde edilen PÇ 42,5 tur.

4.1.2 Standart Kum

Harç üretiminde kullanılan kuma standart kum denir. üstün harç karışımlarında Balıkesir Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş Trakya Çimento Fabrikasından temin edilen, TS 819 Rilem- Cembureau standart kum kullanılmıştır.

4.1.3 Su

Deneylerde kullanılan su, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında kullanılan, içilebilen Adapazarı şehir suyudur.

4.1.4 Borik Asit

Borik asit (H_3BO_3), molekül ağırlığı 61.83 gr/mol, B_2O_3 içeriği % 56.3, ergime noktası 169 °C, özgül ağırlığı 1.44, oluşum ısısı -1089 kJ/mol, çözünme ısısı 22.2 kJ/mol olan kristal yapılu bir maddedir. Oda sıcaklığında sudaki çözünürlüğü az

olmasına rağmen sıcaklık yükseldikçe çözünürlüğü de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sanayide borik asidi kristallendirmek için genellikle doymuş çözeltiyi 80 °C'den 40 °C'ye kadar soğutmak yeterli olmaktadır [17].

4.1.5 Kil Pestili

Etibor Kırka Bor İşletme tesisinden temin edilen DSM eleküstü kil pestili kullanılmıştır. Kil pestili çeşitli oranlarda çimentoya katılarak elde edilen harç numunelerinin basınç değerleri belirlenmiş ve sonuçlar şahit numuneyle karşılaştırılmıştır. Deneylerde kullanılan kil pestilinin kimyasal özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1.Kil pestilinin kimyasal özellikleri

Bileşim	% Oranı
SiO ₂	13.02
Al ₂ O ₃	0.15
Fe ₂ O ₃	0.80
CaO	12.04
MgO	12.48
K ₂ O	1.35
Na ₂ O	6.25
B ₂ O ₃	13.71
Kızdırma Kaybı	37.64
Nem, %	10.80

4.1.6 Perlit

Volkanik bir kaya olan perlit cevherinin 800-1200 C sıcaklıktaki bir ortamda bünyesinde bulunan %2-7 oranındaki suyun buharlaşması sonucu genişterek hacminin 10-35 kat artması ile elde edilen beyaz renkli, gözenekli ve hafif tanelerden oluşmuş malzemedir.

Özgül Ağırlığı : 32-120 kg/m³
 Isı İletkenliği : 0,034 - 0,045 Kcal/mhC
 pH : 6,6 - 8,0

Renk : Beyaz
Ses Yutuculuğu : 18 db (125 Hz'de) [18]

Tablo 4.2 Tipik bir perlitin kimyasal içeriği (%) [18]

SiO ₂	71.0-75.0
Al ₂ O ₃	12.5-18.0
NaO	2.9-4.0
K ₂ O ₃	0.5-2.0
CaO	0.1-1.5
Fe ₂ O ₃	0.02-0.5
MgO	0.03-0.2
TiO ₂	0.03-0.2
H ₂ O	2.0-5.0
MnO ₂	0.0- 0.1
SO ₃	0.0.-0.2
FeO	0.0-0.1
Cr	0.0-0.1
Ba	0.0-0.05
PbO	0.0-0.03
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0.0-0.2
Toplam klorürler	0.0-0.2

4.1.7 Sıvı cam

Sodyum ve/veya potasyum miktarının ağırlığına göre sodyum ve potas cam suyundan söz edilebilir. Cam suyu kumun soda (sodyum su camı) veya potas (potasyum su camı) gibi alkalilerle yapılmış erigidir.

Cam suyu suda çözülür. Konservecilikte ve deterjan yapımında temel katman olarak kullanılır.

Su ve alkali karışımına ancak stabilizatör olarak kalsiyum katılıp hepsi birlikte arıtdıktan sonra çözölmeyen gerçek cam oluşmaktadır [7].

Sıvı camın kimyasal içeriğı Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Sıvı camın kimyasal içeriğı (%) [1]

İçerik	%
SiO ₂	76
Al ₂ O ₃	1.5
CaO	3.2
MgO	1.5
Na ₂ O	17.8

4.1.8 Katran

Maden kömüründen ham olarak üretilen katran, kullanım yeri ve üretim şartlarına bağılı olarak çeşitli şekillerde uygulanmaktadır. Temel kullanım alanları:

Susuz katran olarak: Siyah renkli, parlak ve siparişe göre değışik akışkanlıkta hazırlanabilen malzemedir. Petrol ürünü solventlerde erimez (benzin, gazyağı, mazot, motor yağları vs.)

Coal Tar: Coal Tar- Epoksi resin sistemi içersinde katkı malzemesi olarak kullanılarak üretim formölasyonu özelliklerine göre yapılır. Bu förmölasyonda karışımlarda elastikiyet ve asitlere dayanıklılık arttırıcı rol oynar. Çelik boru kazıkların deniz suyuna karşı korunması ve benzeri alanlarda kullanılır.

Coal Tar Enamel: BS-4164-1980 standartlarına uygun olarak üretilir. Bünyesinde çok az su absorbe eder, bakteri barındırmaz, elektrik direnci yüksektir ve iyi bir bağlayıcıdır. Bu özellikleri ile yüksek kaliteli çelik boru kaplamaları ve benzeri yerlerde sıcak olarak uygulanan bir malzemedir [7].

Deneylerde Koç Marka kaynatılmış katran kullanılmıştır.

4.2 Çimento harçlarında yapılan deneyler

Çimento, su ve kumun oluşturdukları karışıma çimento harcı denilmektedir. Harçta kullanılan kum, TS 819 Rilem-Cembureau standart kumu özel bir kumdur. Çimentonun basınç dayanımlarının bulunmasında çimento harcından yapılan deney numuneleri kullanılmaktadır.

4.3 Harç Karışımlarının Hazırlanması

Harç, ağırlıkça 1 kısım bağlayıcı malzeme (çimento), 3 kısım standart kum ve $\frac{1}{2}$ kısım suyun karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Su olarak içilebilen musluk suyu kullanılmıştır.

Harçlar Sakarya Üniversitesi İnşaat Laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu çalışmada borik asit, kil pestili, katran, sıvı cam, perlit kullanılarak katkılı harçlar hazırlanmıştır.

Çimento miktarı azaltılmadan ve belli oranlarda azaltılarak borik asit, kil pestili, katran, sıvı cam, perlit karıştırılarak, katkılı harç numuneleri hazırlanmıştır.

4.3.1 Borik asit kullanarak hazırlanan harçlar

Deneylerde kullanılan borik asit hiçbir işleme tabii tutulmadan kullanılmıştır. Borik asit önce çimento azaltılmadan 450gr çimento, 225gr su ve 1350gr standart kumla hazırlanan harç numunesine çimentonun ağırlıkça %1, %2, %3, %4, %5 oranlarında borik asit katılarak bir seri numune hazırlanmıştır.

Daha sonra çimento %1, %2, %3, %4, %5 oranlarda azaltılıp yerine aynı miktarda borik asit katılarak bir seri borik asitli harç numunesi daha hazırlanmıştır.

4.3.2 Kil pestili kullanılarak hazırlanan harçlar

DSM elek üstü kil pestili, önce açık havada 20 gün kurutulmuş, değirmende öğütüldükten sonra 0,0074mm elekten elenmiş, elek altına geçen numune, çimento miktarı %1, %2, %3, %4, %5 oranında azaltılarak yerine bu oranlarda kil pestili katılarak kil pestilli harç numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin karıştırılması, kalıplara yerleştirmesi ve bekletilmesi şahit numuneyle aynı şekilde yapılmıştır.

Daha sonra çimento miktarı azaltılmadan 0,5gr, 1gr, 1,5gr, 2gr, 2,5gr, 3gr,3,5gr,4gr, 4,5gr, 5gr kil pestili katılarak bir seri daha harç numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan harçların cinsleri ve kodları da Tablo 4.4'de, çimento miktarları, kil pestili miktarı Tablo 4.5'de, gösterilmiştir. Numunelerin karıştırılması, kalıplara yerleştirmesi ve bekletilmesi şahit numuneyle aynı şekilde yapılmıştır.

Tablo 4.4 Üretilen kil pestili katkılı harçların cinsleri ve kodları

Harcın Cinsi	Harcın Kodu
Portlan Çimentosu	PÇ
% 1 Kil pestili katkılı harç	% 1 KP
% 2 Kil pestili katkılı harç	% 2 KP
% 3 Kil pestili katkılı harç	% 3 KP
%4 Kil pestili katkılı harç	% 4 KP
% 5 Kil pestili katkılı harç	% 5 KP
Harcın Cinsi	Harcın kodu
0,5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-O,5
1 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-1
1,5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-1,5
2 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-2
2,5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP- 2,5
3 gr Kil Pestili katkılı harç	KP- 3
3,5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-3,5
4 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-4
4,5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-4,5
5 gr Kil Pestili katkılı harç	KP-5

Tablo 4.5 Kil pestili kullanarak üretilen katkılı harç karışımlarına giren malzeme miktarları

Harcın kodu	Çimento miktarı (g)	Kil pestili miktarı	
		%	g
PÇ	450	-	-
% 1 KP	445,5	1	4,5
% 2 KP	441	2	9
% 3 KP	436	3	13,5
% 4 KP	432	4	18
% 5 KP	427,5	5	22,5
Harcın kodu	Çimento miktarı g	Kil pestili miktarı g	
KP-0,5	450	0,5	
KP-1	450	1	
KP-1,5	450	1,5	
KP-2	450	2	
KP-2,5	450	2,5	
KP-3	450	3	
KP-3,5	450	3,5	
KP-4	450	4	
KP-4,5	450	4,5	
KP-5	450	5	

4.3.3. Kil pestili, sıvı cam, perlit ve katran kullanılarak hazırlanan harçlar

Deneylerde kullanılan perlit ve kil pestili atığı değirmende öğütüldükten sonra, 0.0074mm elekten elenmiş ve deneylerde elek altına geçen numune kullanılmıştır.

Perlit, sıvıcam, katran ve kil pestilinden 1gr, 2gr, 3gr, 4gr, 5gr kullanarak harç numuneleri hazırlanmıştır. Harçların kodları Tablo 4.6'da, harca katılan çimento ve katkı malzemelerinin miktarları Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Numunelerin karıştırılması, kalıplara yerleştirilmesi ve bekletilmesi şahit numuneyle aynı şekilde yapılmıştır.

Tablo 4.6 Üretilen katkılı (sıvıcam,katran, perlit, kil pestili) harçların kodları

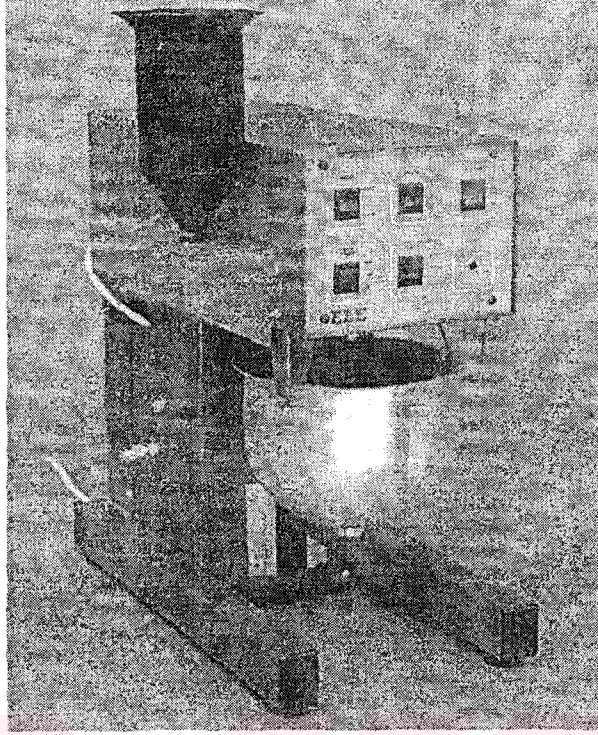
Harcın cinsi	Harcın kodu
Portland Çimentosu	PÇ
1gr(sıvı cam,katran,kil pestili,perlit)	A1
2gr(sıvı cam,katran,kil pestili,perlit)	A2
3gr(sıvı cam,katran,kil pestili,perlit)	A3
4gr(sıvı cam,katran,kil pestili,perlit)	A4
5gr(sıvı cam,katran,kil pestili,perlit)	A5

Tablo 4.7 : Üretilen katkılı(sıvı cam,katran, perlit, kil pestili) harç karışımlarına giren malzeme miktarları

Harcın Kodu	Çimento Miktarı (gr)	Sıvı Cam (gr)	Katran (gr)	Perlit (gr)	Kil Pestili (gr)
PÇ	450	-	-	-	-
A1	446	1	1	1	1
A2	442	2	2	2	2
A3	438	3	3	3	3
A4	434	4	4	4	4
A5	430	5	5	5	5

4.4 Şahit numune hazırlanması (Harcın karıştırılması)

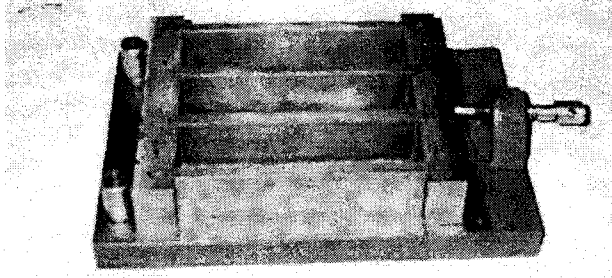
Harcın karıştırılmasında Ele marka karıştırıcı (Şekil 4.1) kullanılmıştır. Şahit numune için 450gr çimento, 225gr su, 1350gr standart kum kullanılmıştır. Karıştırma kabına 225gr su konulmuş. üzerine 450gr çimento ilave edilmiş, karıştırıcı düşük hızda 30sn çalıştırılmıştır. 30 sn sonunda 1350 gr kum, karıştırma devam ederken yavaş yavaş katılmış. Kumun katılması 1 dakika sonunda bitmiştir. 1 dakika sonunda karıştırıcı yüksek hıza ayar edilerek 30 saniye daha karıştırılmış. Bu 90 saniyelik karıştırmadan sonra karıştırıcı durdurulmuş. Karıştırıcı durduktan sonra 15 saniye içinde, karıştırma kabının cidarlarına ve karıştırıcıya bulaşmış olan kabın içine kazınmış, 75 saniye kadar bekletilmiştir. Bu süre sonunda karıştırıcı yüksek hızda yeniden 1 dakika daha karıştırılmış. Böylece harç kalıplara konulmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.1 Harç hazırlama mikseri

4.5 Harç kalıplarının doldurulması

Karıştırma işlemi bitince elde edilen harç kalıba (Şekil 4.2) alınmıştır. Kalıp üç bölmelidir. Her bir bölme yağlandıktan sonra harcın yaklaşık olarak yarısını kalıplara koyduktan sonra, kalıp sarsma aletine yerleştirilmiş ve 90 saniye boyunca sarsma işlemi yapılmıştır. Alet durdurulduktan sonra harcın kalan kısmı da aynı şekilde yerleştirilerek 120 saniye yeniden sarsma yapılmıştır. Kalıp sarsma tablasından alındıktan sonra, harcın fazlası metal bir master ile sıyrılmış, kalıp üst yüzü aynı master ile düzlenmiştir.



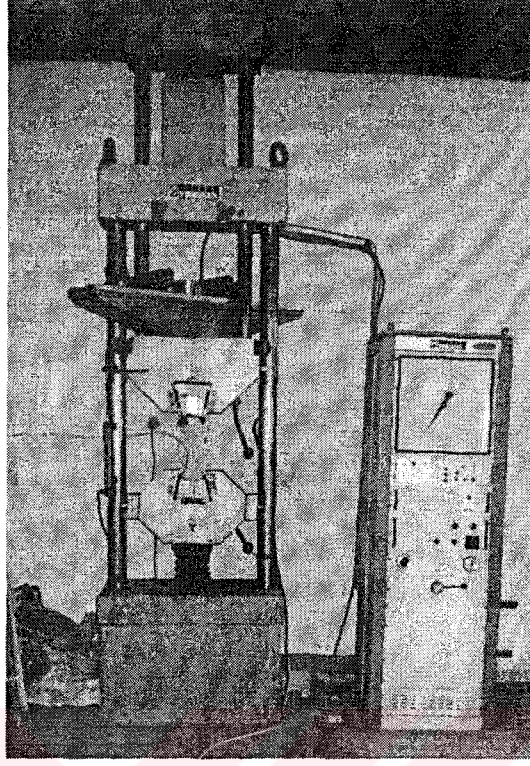
Şekil 4.2 Harç kalıbı

4.6 Harçların bekletilmesi ve kür edilmeleri

Harç kalıpları 20 °C sıcaklıkta bir odada bekletilmiştir. Dökümden itibaren 24 saat sonra kalıplar sökülümü. Kalıptan çıkan her 40x40x160mm ebadındaki harç prizmanın üstleri numaralandırılmış. Daha sonra 20°C'lik içilebilir musluk suyu ile doldurulmuş havuz içinde kırılacakları güne kadar bekletilmiştir. Kırılmalar dökümden itibaren 2, 7, 28 ve 90 gün sonra yapılmıştır. Bekletilme suyu her 20 günde bir değiştirilmiştir. Numuneler mukavemet deneyinden 15 dakika önce su havuzundan çıkarılıp bir bezle kurulanmış. Daha sonra mukavemetlerini ölçmek için kırma aletine yerleştirilmiştir.

4.7 Harç numunelerinin basınç dayanımı tayini

Prizmatik harç numuneleri basınç dayanımı tayininden önce su havuzundan alınmış, kesme aletinde 4x4x4 boyutunda kesilerek üç parçaya bölünmüş ve her prizmanın basınç dayanımı ölçülerek ortalaması alınmıştır. Basınç dayanım deneyleri Schenck Trabel- Cel marka çekme koparma tezgahında (Şekil 4.3) yapılmıştır. Kırma başlığı yardımıyla harç prizmasına saniyede 1-2 N/mm² artacak şekilde basınç uygulanmıştır. Kırılma gerçekleştiğinde basınç değeri aletten okunmuştur. Basınç dayanımı değerleri Tablo 5.1,5.2 ve şekil 5.1, 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Schenck Trabel-Cel çekme koparma tezgahı

BÖLÜM 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmalarımızda, borik asit, sıvı cam, perlit katran ve bor maden işletmesi atığı olan kil pestili kullanılarak katkılı harç numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelere basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen değerler şahit numunenin basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırılmıştır.

5.1. Borik asit kullanarak

Çimento miktarı %1, %2, % 3, %4, %5 miktarında azaltılarak yerine borik asit katılarak hazırlanan harç numuneleri 24 saat bekleme süresi sonucunda sertleşmemiş, 3 gün sonra numune sertleşmiş ancak suya koyulduktan kısa bir sonra numune parçalanmış bu yüzden basınç dayanımı deneyleri yapılamamıştır.

Çimento miktarı azaltılmadan, çimentonun %1, %2, % 3, %4, %5 oranlarında borik asit ilave edilerek hazırlanan harç numuneleri de 24 saat bekleme süresinde sertleşmemiş, sertleştikten sonra suya konulduğu zaman numune parçalanmıştır bu yüzden basınç dayanımı deneyleri yapılamamıştır.

Borik asit kullanarak yapılan harçlardan olumlu sonuçlar elde edilememiştir. Borik asitin hiçbir işleme tabii tutulmadan çimentoya ilave ve ikame malzeme olarak kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

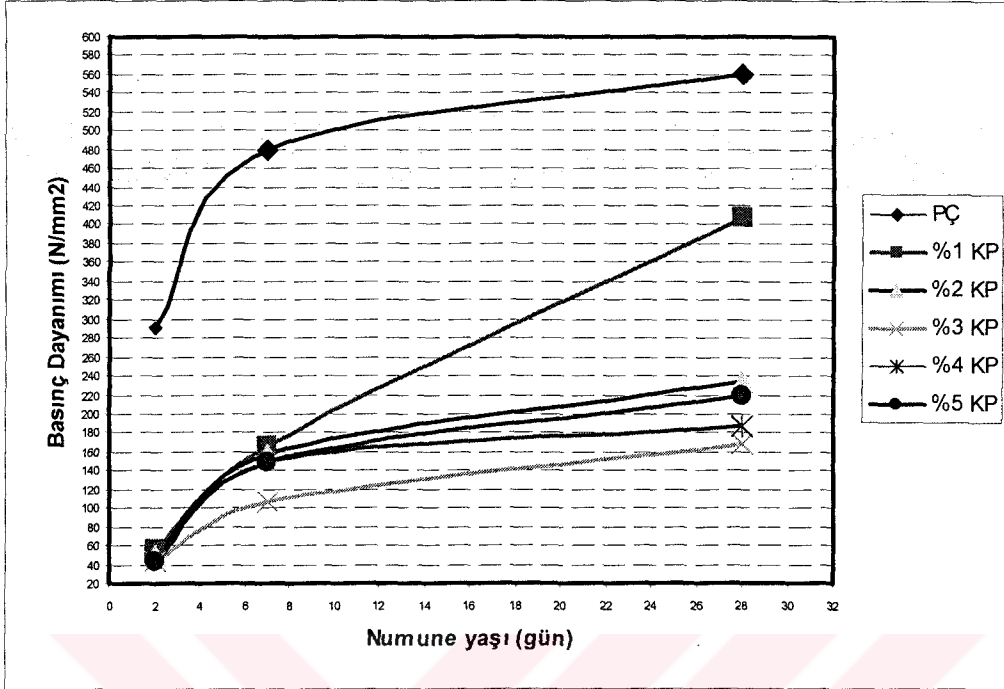
5.2. Kil pestili kullanarak

Çimento oranı %1, %2, % 3, %4, %5 oranında azaltılarak yerine kil pestili kullanarak hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımları, şahit numunenin basınç dayanım değerleriyle karşılaştırılmış (Tablo 5.1), (Şekil 5.1), kil pestili

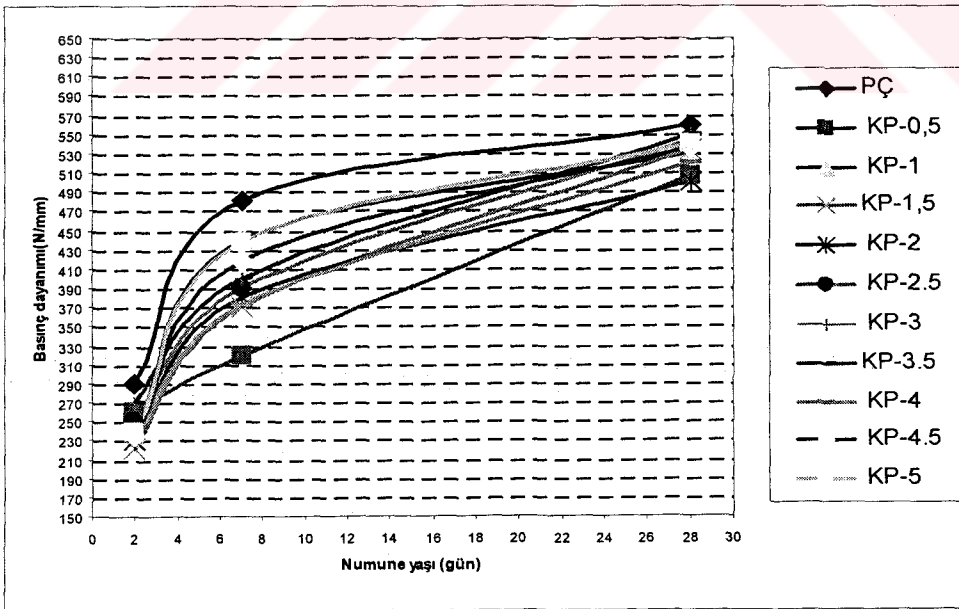
katılarak hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin, şahit numune basınç değerlerine göre düşük olduğu görülmüştür. Çimento miktarı azaltılmadan 0.5gr, 1gr, 1.5gr, 2gr, 2.5gr, 3gr, 3.5gr, 4gr, 4.5gr, 5gr kil pestili ilave edilerek hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri, şahit numune değerleriyle karşılaştırılmış (Tablo 5.1), (Şekil 5.2), sonuçların şahit numune basınç değerlerine yakın olduğu görülmüştür, buna dayanarak kil pestilinin belli miktarlarda çimentoya ilave malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.1.Kil pestili katkılı harçlardan elde edilen basınç dayanımları

Çimento	Basınç dayanımı (N/ mm ²)		
	2 gün	7 gün	28 gün
PÇ	290	480	560
Çimento miktarı azaltılarak			
% 1 KP	57	167	408
% 2 KP	50	157	234
% 3 KP	44	107	169
% 4 KP	44	150	150
% 5 KP	44	150	220
Çimento miktarı azaltılmadan			
KP-0.5	260	320	506
KP-1	240	440	530
KP-1.5	220	370	534
KP-2	230	380	500
KP-2.5	250	390	544
KP-3	270	400	550
KP-3.5	230	450	580
KP-4	232	372	520
KP-4.5	234	418	535
KP-5	238	438	540



Şekil 5.1 Çimento azaltılarak kil pestili katkılı harçların basmaç dayanımı- numune yaşı ilişkisi



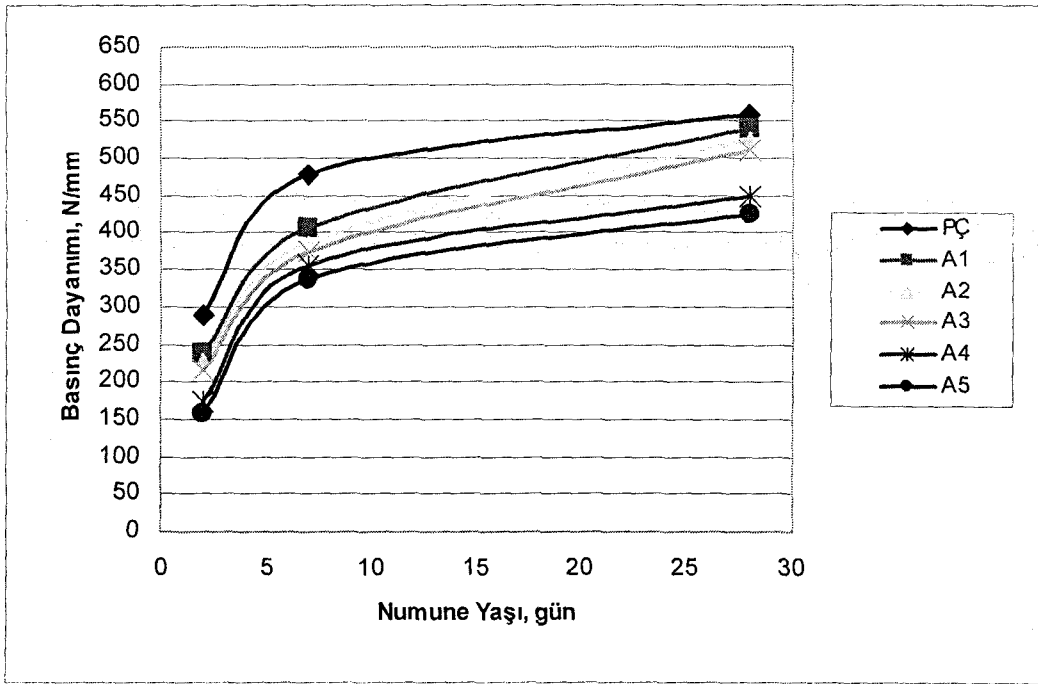
Şekil 5.2 Çimento azaltılmadan, kil pestili katkılı harçların basmaç dayanımı- numune yaşı ilişkisi

5.3. Kil pestili, katran, sıvıcam, perlit kullanarak:

Çimento miktarı azaltılarak yerine her numuneden 1gr, 2gr, 3gr, 4gr, 5gr katılarak hazırlanan harçların basınç dayanımları şahit numune basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırılmış (Tablo 5.2), (Şekil 5.3), 2 günlük basınç dayanımı değerlerinin şahit numune değerlerine göre düşük olduğu görülmüş fakat zamanla katkılı harçların basınç dayanımı değerlerinin yükseldiği ve şahit numune değerlerine yakın değerlere ulaştığı görülmüştür. Çimento miktarı azaltılarak yerine bu malzemeler kullanıldığında olumlu sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.2 Kil pestili, katran, perlit, sıvı cam katkılı harçların basınç dayanımları

Harcın adı	Basınç dayanımı (N/ mm ²)		
	2 gün	7 gün	28 gün
PÇ	290	480	560
A1	237	407	540
A2	231	388	525
A3	218	375	512
A4	175	357	450
A5	157	338	425



Şekil 5.3. Kil pestili,katran,perlit,sıvı cam katkılı harçların basınç dayanım-numune yaşı ilişkisi

Öneriler

- Deneylerde kullandığımız borik asit, harç numunesinin sertleşme süresini uzatmıştır, bu sonuçtan yola çıkarak borik asit belli miktarda çimentoya ilave edilerek çimentonun priz süresini uzatmak amacıyla kullanılabilir.

- Çimento miktarı %1, %2, %3, %4, %5 azaltılarak, yerine kil pestili kullanılarak hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanım değerleri şahit numune basınç değerlerine göre düşük çıkmıştır, fakat kil pestili atığı çimento oranı azaltılmadan çimentoya ilave malzeme olarak kullanıldığında şahit numune basınç dayanımı değerlerine yakın değerler elde edilmiştir ki bu sonuca dayanarak kil pestili atığı tek başına çimentoya ilave malzeme olarak kullanılabilir.

Kil pestili atığının değerlendirilmesiyle her yıl yaklaşık 50.000 ton civarında olan ve işletme yakınlarındaki göletlere boşaltılan, yararlı toprak sahasını işgal ederek çevre

ve çevredeki bitkilere zarar veren kil pestili atığı değerlendirilmiş olacak hem de çimento üretimi için kullanılan hammadde miktarından tasarruf edilmiş olacaktır.

- Çimento oranı azaltılarak kil pestili, katran, sıvı cam, perlit kullanılarak hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri şahit numune basınç dayanımı değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuca dayanarak bu malzemeleri çimentoya ilave veya ikame malzeme olarak kullanılarak basınç dayanımı yüksek çimentolar üretilebilir.

- Çimento miktarı %1, %2, %3, %4, %5 oranlarında azaltılıp yerine kil pestili katılarak hazırlanan numunelerin basınç dayanımı düşük çıkmıştı, kil pestili ile birlikte sıvı cam, perlit, katran katılarak hazırlanan numunelerin basınç dayanımı değerleri daha yüksek çıkmıştır ki sonuçta bu malzemeler kullanılarak yüksek dayanımlı çimento elde edilmesi mümkün olabilecektir.

Tükenmez miktarda olmayan doğal kaynaklarımızın daha verimli ve uzun süre kullanılabilmesi için şuanda sanayide, atık olarak atılan, depolanan, maden ocaklarında oluşan ve kullanılmayarak çevreyi kirleten döküntüleri inşaat malzemelerine ilave veya ikame malzeme olarak kullanılması hem çevrenin daha az kirlenmesi, doğal kaynakların daha verimli ve uzun süre kullanılabilmesi hemde ekonomik anlamda büyük yararlar sağlayacaktır. Bu, atıksız teknolojiler konusunda atılacak önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ALOSMAN, M.,S., “Çevre Teknolojisi Kitabı”, İstanbul, 2002
- [2] CANPOLAT, F., “ Çimento Performansının Geliştirilmesinde Doğal Zeolitin Endüstriyel Atıklarla Birlikte Kullanılması”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002
- [3] KULA, İ., “Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya ,2000
- [4] TARGAN Ş., “Kula Cürufu , Bentonit, Kül ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2001
- [5] ŞAHİN, Ö., AKGÜNER, H., “Kimyasal ve Mineral Esaslı Katkılı Maddeler”, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya 2000
- [6] ŞİMŞEK, O., “Yapı Malzemesi II, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2000
- [7] SEFİK, S., YALÇIN, D., “ Atıkların İnşaat Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ve Deneysel Çalışmalar” Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Haziran 2002
- [8] ÇAKIR, S., GÖKBULUT, N.,G., “Termik Santral Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Değerlendirilmesi”, Katı Atık ve Çevre Dergisi, s: 8-12, sayı: 20, Ekim 1995

[9] Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3 Bildiriler Kitabı, 1-2 Ekim, 1997, Eskişehir

[10] Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 18-19 Kasım, 1993, Ankara

[11] Chich-Huang Weng, Deng-Fong Lin, Pen-Chi Chinang, "Utilization of sludge as brick materials", Advances in Environmental Research, Taiwan, 2002, www.elsevier.com/locate/aer

[12] İnşaat Sektöründe ve Diğer Sektörlerde Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi <http://www.sermak.com.tr/inceleme.htm>

[13] YÜCELER, A., ÇELİK, O.N., "Polimerlerin Asfalt Betonunda Kullanılması ve Atık Plastiklerin Değerlendirilmesi" <http://www.imo.org.tr/Yayinlar/td/Gsayilar/Cilt-02.htm>

[14] 1.Uluslararası Bor Sempozyumu, 3-4 Ekim, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2002

[15] EDİZ, N., "Tinkal Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Borlu Suların Arıtılmasında Tek Kademeli Çözme Helezonu Kullanımı", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999

[16] 1.Ulusal Katı Atık Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-21 Nisan 2001, İzmir

[17] KULA, İ., "Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000

[18] IŞIKTEKİNER, M., K., "Borlu Sanayi Atıksularının Perlit ile Arıtımı" Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Haziran 2003

ÖZGEÇMİŞ

Şafak Kır al, 1976 yılında Kars'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya'da tamamladıktan sonra 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğı Bölümüne girdi. 1999 yılında aynı okuldan mezun oldu. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliğı Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliğı Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı, halen bu göreve devam etmektedir.

