KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PUZOLANİK MALZEMELERİN HAFİF DUVAR MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ersin KİRAZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Salih Taner Yıldırım

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PUZOLONİK MALZEMELERİN HAFİF DUVAR MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Ersin KİRAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18.06.2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 09.07.2010

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. S. Taner YILDIRIM

Üye
Doç.Dr. Mehmet SARIBIYIK

Üye
Doç.Dr. Şevket ÖZDEN

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince her türlü bilgisini ve tecrübesini paylaşan her türlü desteği sağlayan, deney programlarını belirleyen, deney malzemelerinin ve araçlarının teminini sağlayan saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Özellikle laboratuarımıza projelerimiz kapsamında oldukça büyük destek veren Rektör Yardımcısı Sayın Prof. Dr. Arif DEMİR'e ve Sayın Rektörümüz Prof.Dr. Sezer Şener KOMSUOĞLU'na, malzemelerimizi temin etmemizde bize önemli yardımları olan Çatalağzı Termik Santrali Yetkilisi Sayın Yusuf TİRYAKİOĞLU' na, Nuh Çimento A.Ş. Kalite Kontrol Müdürü Sayın Beyhan ÜÇYİĞİT, Nuh Beton A.Ş. Kalite Kontrol Müdürü Sayın Mehmet MUTLU, Kavanlar Hazır Beton A.Ş. Teknik Müdürü Sayın İlhan YILMAZ ve Özyapı Beton A.Ş. laboratuar sorumluluğunu bir dönem yapmış olan Abdullah PİŞKİN'e, ABM Yapı Denetim Firması Kısım Şefi Okan ÖZTÜRK'e, malzeme kesimlerimizde bize çok yardımcı olan Teknisyen Ali GÜROCAK ve testlerimizde yardımcı olan diğer ABM Yapı Denetim Firması çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca maddi manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme ve laboratuar çalışmalarında bana yardımcı olan öğrenci arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
ÖZET viii
İNGİLİZCE ÖZET ix
1. GİRİŞ 1
2. DUVARDA KULLANILAN YAPI ELEMANLARI 2
2.1. Gazbeton Duvar Elemanları 2
2.1.1. Gazbetonun Tanımı 2
2.1.2. Gazbeton üretimi 3
2.1.3. Gazbetonun özellikleri 4
2.1.3.1. Gazbetonun fiziksel özellikleri 4
2.1.3.2. Gazbetonun mekanik özellikleri 5
2.1.3.3. Gazbetonun kimyasal özellikleri 6
2.2. Kilden Üretilen Duvar Elemanları 6
2.2.1. Kerpiç 7
2.2.2. Tuğla 7
2.2.3. Refrakter malzeme 8
2.3. Alçıdan Üretilen Duvar Elemanları 8
2.4. Pomzadan Üretilen Duvar Elemanları 10
2.4.1. Pomza (Bims) 10
2.4.2. Bimsblok üretimi 12
3. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 14
4. MATERYAL ve YÖNTEM 30
4.1. Kullanılan Malzemeler 30
4.1.1. Siklon külü 30
4.1.2. Çimento 31
4.1.3. Kireç 32
4.1.4. Uçucu kül 32
4.1.5. Perlit 33
4.1.6. Kum 34
4.2. Duvar Malzemesi Üretimi 34
4.3. Üretilen Duvar Malzemelerinde Gerçekleştirilen Deneyler ve Deney Sonuçlarının Yorumlanması 40
4.3.1. Harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler 40
4.3.1.1. Eğilme dayanımı 40
4.3.1.2. Basınç dayanımı 48
4.3.1.3. Su emme ve birim ağırlık 55

4.3.2. Duvar elemanı boyutundaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler.... 62
4.3.2.1. Eğilme dayanımı 62
4.3.2.2. Basınç dayanımı 64
4.3.2.3. Ultrasonik ses hızı 65
4.3.2.4. Isıl iletkenlik 67
4.4. Üretilen Yeni Malzemenin Diğer Duvar Elemanları İle Kıyaslanması 70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 75
ÖZGEÇMİŞ 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Gazbetonun dozajlanması ve kalıplara dökülmesi 3
Şekil 2.2: Gazbeton otoklavlanması..... 4
Şekil 2.3: Genleşme sürecinde oluşan hava kabarcıkları..... 5
Şekil 2.4: Tipik alçı levha üretim prosesi 10
Şekil 3.1: (a) Siklon olmayan asfalt numunenin yapısı (b) zengin siklon içeren asfalt numunenin yapısı 15
Şekil 4.1: Siklonun granülometri eğrisi 31
Şekil 4.2: Kırma kumun granülometri eğrisi 34
Şekil 4.3: Akma masasında su içeriğinin belirlenmesi 36
Şekil 4.4: Harç numunelerini kalıplar yerleştirilmesi ve pres altında sıkıştırılması .. 36
Şekil 4.5: Beton mikserinde hazırlanan taze karışım..... 38
Şekil 4.6: Taze karışımın kalıba yerleştirilmesi ve pres arlında sıkıştırılması..... 39
Şekil 4.7: Zımpara yapılmadan önceki ve yapıldıktan sonraki numune yüzeyleri 39
Şekil 4.8: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği 41
Şekil 4.9: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği 42
Şekil 4.10: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği..... 43
Şekil 4.11: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği..... 45
Şekil 4.12: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği 46
Şekil 4.13: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği 47
Şekil 4.14: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği... 49
Şekil 4.15: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği..... 50
Şekil 4.16: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği 51
Şekil 4.17: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği..... 52
Şekil 4.18: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği 53
Şekil 4.19: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği 54
Şekil 4.20: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları 56
Şekil 4.21: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği..... 57
Şekil 4.22: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği 58
Şekil 4.23: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği 58
Şekil 4.24: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği..... 59

Şekil 4.25: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği 60
Şekil 4.26: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği..... 61
Şekil 4.27: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği 61
Şekil 4.28: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin eğilme dayanımlarının grafiği 63
Şekil 4.29: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin basınç dayanımlarının grafiği 65
Şekil 4.30: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ultrasonik ses hızı değerlerinin grafiği..... 66
Şekil 4.31: Isıl iletkenlik cihazına yerleştirilmiş numune..... 67
Şekil 4.32: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayılarının grafiği 69
Şekil 4.33: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayılarının birim hacim ağırlığa göre değişimi 70

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Gazbetonun basınç dayanım sınıfları 6
Tablo 2.2: Şereflikoçhisar, Bala, Çankırı'dan elde edilen numunelerin kimyasal analiz sonuçları 9
Tablo 4.1: Siklon külünün kimyasal özellikleri 30
Tablo 4.2: Çimentonun kimyasal özellikleri 31
Tablo 4.3: Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri 32
Tablo 4.4: Kirecin kimyasal özellikleri 32
Tablo 4.5: Uçucu külün kimyasal özellikleri 33
Tablo 4.6: Uçucu külün fiziksel özellikleri 33
Tablo 4.7: Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi 33
Tablo 4.8: Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri 34
Tablo 4.9: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numune serileri ve içerikleri 35
Tablo 4.10: %100 çimento içeriğine sahip numune içerikleri 37
Tablo 4.11: %50 çimento %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğine sahip numune içerikleri 37
Tablo 4.12: %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip numune içerikleri 37
Tablo 4.13: Duvar elemanı olarak üretilen numune içerikleri 38
Tablo 4.14: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımları 41
Tablo 4.15: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımları 42
Tablo 4.16: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerin eğilme dayanımları 43
Tablo 4.17: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları 45
Tablo 4.18: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları 46
Tablo 4.19: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları 47
Tablo 4.20: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları 48
Tablo 4.21: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları 49
Tablo 4.22: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları 50
Tablo 4.23: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları 52
Tablo 4.24: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları 53
Tablo 4.25: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları 54
Tablo 4.26: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri 56
Tablo 4.27: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri 58

Tablo 4.28: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri ……...59
Tablo 4.29: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri ……...60
Tablo 4.30: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin eğilme dayanımları 63
Tablo 4.31: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin basınç dayanımları..... 65
Tablo 4.32: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ultrasonik ses hızı değerleri ……...66
Tablo 4.33: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayıları ve ısıl dirençleri 69
Tablo 4.34: Üretilen yeni duvar malzemesinin piyasada kullanılan duvar elemanları ile karşılaştırılması 70

PUZOLANİK MALZEMELERİN HAFİF DUVAR MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Ersin KİRAZ

Anahtar kelimeler: Puzolan, atık malzemeler, duvar malzemesi, hafiflik, ısı yalıtımı

Özet: Bu deneysel çalışmada endüstriyel bir atık olan siklon külü ve uçucu kül ile hafif duvar malzemesi üretimi araştırılmıştır. Yalıtıma ve hafifliğe yardımcı olması için genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Çalışmanın ilk iki aşaması harç numuneleri üzerinden yürütülmüş ve toplam üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada literatürde yapılan çalışmalar ışığında, ağırlıkça en uygun bağlayıcı (çimento-kireç-uçucu kül) oranları belirlenmiş ve numuneler üç farklı kür koşulunda test edilmiştir. İkinci aşamada seçilen bağlayıcı oranları ile hacimce siklon-perlit oranları araştırılmıştır. Son aşamada ise duvar elemanı boyutunda numuneler üretilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımı, su emme, birim ağırlık ve ısı yalıtımı düzeyini belirlemek için birçok test yapılmıştır.

Sonuç olarak, amaçlandığı gibi puzolanik malzemeler ile hafif duvar malzemesi üretiminde başarıya ulaşılmıştır. Üretilen malzemenin yapısı çok boşluklu ve hafif, su emme, mukavemet ve ısı yalıtım değerleri yeterli olmuştur.

UTILIZATION OF POZZOLANIC MATERIALS IN LIGHTWEIGHT WALL MATERIAL PRODUCTION

Ersin KİRAZ

Keywords: Pozzolana, waste materials, wall material, lightness, heat insulation.

Abstract: In this experimental study, fly ash and cenosphere which is an industrial waste was investigated in lightweight wall material production. Expanded perlite was used to help insulation and lightness. The first two phases of the study was conducted on the mortar samples and all of the study was conducted in three phases. In the first stage, the most suitable binder (cement-lime-fly ash) ratios by weight were determinated in light of the studies in the literature and the specimens were tested in three different curing conditions. In the second stage, selected binding rates and cenosphere-perlite ratio by volume were investigated. In the final stage, the samples were produced in the size of wall element determinated in the study. A lot of tests were carried out to determine compressive and flexural strength, water absorption, unit weight and heat insulation level.

Eventually, it was reached to achievement as intended in lightweight wall material production with puzzolanic materials. The structure of the material produced is much porous and light and the values of water absorption, strength and heat insulation have been sufficient.

1. GİRİŞ

Yapılarda bulunduğu yere göre, aldığı yükleri temele nakleden, bina bölümlerini birbirinden ayıran, bölümleri çevreleyen ve yapıyı dış tesirlere karşı koruyan düşey yapı elemanlarına duvar denir. Günümüzde gazbeton, tuğla, alçı levha gibi ürünler duvarların inşasında en çok kullanılan malzemelerdir. Gelişen dünyamızda bu duvar malzemelerinin eskisine nazaran çok daha fonksiyonel olması beklenmektedir. Isı izolasyonunun yüksek olması, birim ağırlıklarının düşük olması istenen bu özelliklerden bazılarıdır.

Endüstriyel üretimin artması özellikle gelişmekte olan ülkelerde atık malzemelerin çoğalmasına neden olmaktadır. Bu durumda birçok çevre sorunu ortaya çıkmaktadır. Buna karşın farklı sektörlerde endüstriyel atıkların çevre dostu malzemelere dönüştürülmesine yönelik yapılan çalışmalarda giderek büyüyen bir artış yaşanmaktadır. İnşaat endüstrisi bu artışın yaşandığı sektörlerin başında gelmektedir. Uçucu kül, cüruf, cam ve benzeri atıklar yapı malzemelerinin özeliklerinin iyileştirilmesinde, ekonominin sağlanmasında, çevrenin ve doğal kaynakların en verimli şekilde kullanılmasında büyük avantajlar sağlamaktadır.

Çalışmada atık malzeme olarak uçucu kül ve siklon külü tercih edilmiştir. Uçucu kül çimento ve kireç bağlayıcılarla beraber puzolan olarak kullanılmıştır. Önce perlitin hafifliğinden faydalanılması amaçlanarak, duvar malzemesinde kum ile beraber kullanılmasına karar verilmiştir. Fakat daha sonra siklon külü kum yerine tercih edilmiş, hem hafifliğinden hem de bağlayıcı özelliklerinden faydalanılmıştır. Önce harç numuneleri üretilmiş, daha sonra gerçek duvar malzemesi boyutlarına geçilerek araştırma toplam üç aşamada tamamlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri gibi fiziksel ve mekanik testlerin yanı sıra duvar elemanları hakkında yapılmış çalışmalarda pek fazla bulunmayan ısıl iletkenlik testi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta amaçlanan yeterli sağlamlık, yalıtım, su emme ve hafifliğe sahip duvar malzemesi üretilmiştir.

2. DUVARDA KULLANILAN YAPI ELEMANLARI

2.1. Gazbeton Duvar Elemanları

2.1.1. Gazbetonun tanımı

Gazbeton literatür tanımı olarak bünyesindeki milyonlarca gözenek ile ısı yalıtım değeri çok yüksek, hafif, esnek ve yüksek ısılara dayanıklı (1200 ˚C) bir yapı malzemesidir. Teknik tanım olarak ise gazbeton–köpükbeton; ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilavesiyle hafifletilmesi ve ayrıca buhar kürü uygulanarak sertleştirilmesi suretiyle elde edilen gözenekli hafif bir betondur (Yıldırım, 2002).

Gazbetonun endüstrileşmiş üretiminde genellikle silisli agrega olarak silisçe zengin olan kum, kuvarsit veya uçucu kül, gözenek oluşturucu olarak ise alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır. Gazbeton yapı elemanlarının önemli niteliklerinden biri gözenekli dokuya sahip olmalarıdır. Betona gözenekli bir doku kazandırma fikri ilk kez bir Çekoslavak olan E. Hoffman tarafından ortaya atılmıştır. 1889-1925 yılları arasında bu konuda önemli adımlar atılarak pek çok gözenek oluşturma yöntemi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalar arasında J. W. Aylswort ile E. A. Dyer'in yapmış oldukları alüminyum veya çinko tozu kullanarak gözenek oluşturma yöntemi en çok benimseneni olmuştur. Yapay yapı taşlarının önce gözenekli bir dokuya kavuşturulması daha sonra da buhar kürü yardımı ile dış etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesi yönünde en önemli adım ise J. A. Erickson tarafından atılmıştır. Günümüzde gazbeton üretiminde, J. A. Erickson yöntemi takip edilmekle birlikte çağın sağladığı olanaklardan yararlanılarak ürünün niteliklerinin geliştirilmesi yönünde ilerlemeler sağlanmıştır (Yıldırım, 2002; Serin, 1999).

2.1.2. Gazbeton üretimi

Hafif yapı malzemeleri içinde en yaygın olarak kullanılan, "Otoklavlanmış Gözenekli Beton" (Aerated Autoclaved Concrete - AAC), ülkemizde "Gazbeton", "Beyaz Tuğla" gibi isimler altında üretilmektedir. Adı ne olursa olsun, bu malzemelerin üretimindeki ana hammadde silistir ve yaklaşık olarak malzemenin yarısını oluşturur. Silis kaynağı olarak genellikle silis kumu tercih edilmesine karşın kumun ekonomik olarak temin edilemediği yerlerde bölgesel kuvarsitler kullanılmaktadır (Bayraktar ve diğ., 1999).

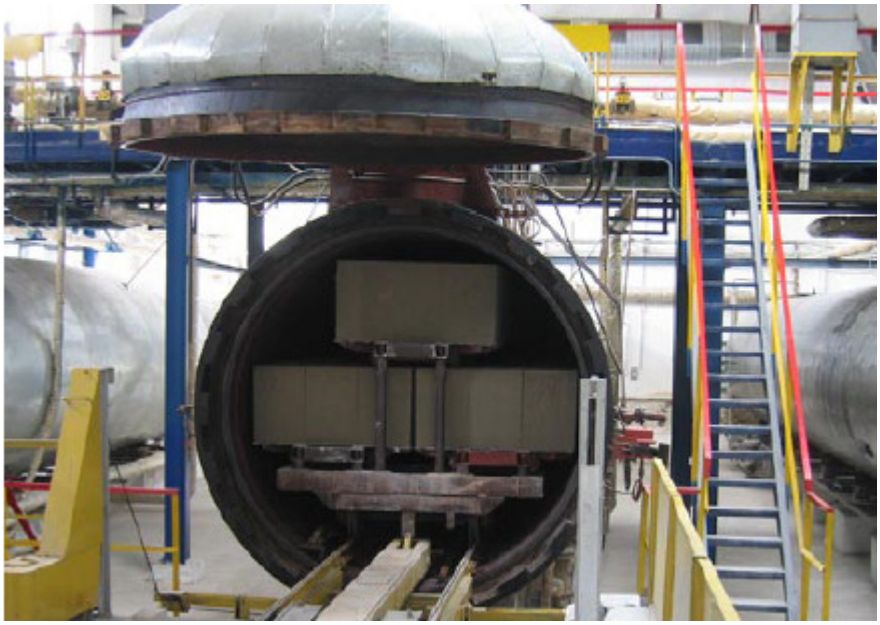
Gazbetonun ana hammaddelerinden kuvarsit, kırma tesisinden geçirilerek kum haline getirilir. Daha sonra kuvarsit kumuna az miktarda alçı taşı ilave edilerek bilyeli değirmende öğütülür ve elde edilen karışım sürekli olarak karıştırılan silolara alınır. Bu işleme paralel olarak kırılıp öğütülen sönmemiş kireç de istenilen inceliğe geldikten sonra siloya alınır. Kireç silosu yanında portland çimentosu bulunur. Uygulanacak karışımın reçetesi seçildikten sonra bilgisayar yardımıyla hammaddeler dozajlanıp karıştırılır. Sıcaklık ve viskozitesi istenilen düzeye ulaşınca karışıma alüminyum şerbeti ilave edilir. Kısa bir karıştırmadan sonra hazırlanan harç kalıplara dökülür. Şekil 2.1'de yapılan bu işlemler gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Gazbetonun dozajlanması ve kalıplara dökülmesi

Sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulan bekleme tünelinde harç, oluşan hava kabarcıkları yardımı ile kabarır ve sertleşmeye başlar. Oluşan gazbeton peltesi bilgisayar kumandalı kesme tezgâhına alınır ve istenilen boyutlarda çok hassas ve düzgün bir biçimde kesilir. Kesim işleminden sonra kür arabalarına yerleştirilen gazbeton, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi basınçlı buhar kürüne tabi tutulacağı otoklavlara alınır. Yüksek basınçlı doygun buhar ortamında oluşan reaksiyonlar gazbetona, hafif ve çok gözenekli olmasına rağmen yeterli basınç dayanımı

sağlarlar. Yaklaşık 10 saat süren bu kürden sonra gazbeton bloklar otomatik paketleme tesisine alınır ve paketlenir. İnşaatlarda kullanıma hazır hale getirilmiş olur.



Şekil 2.2: Gazbeton otoklavlanması

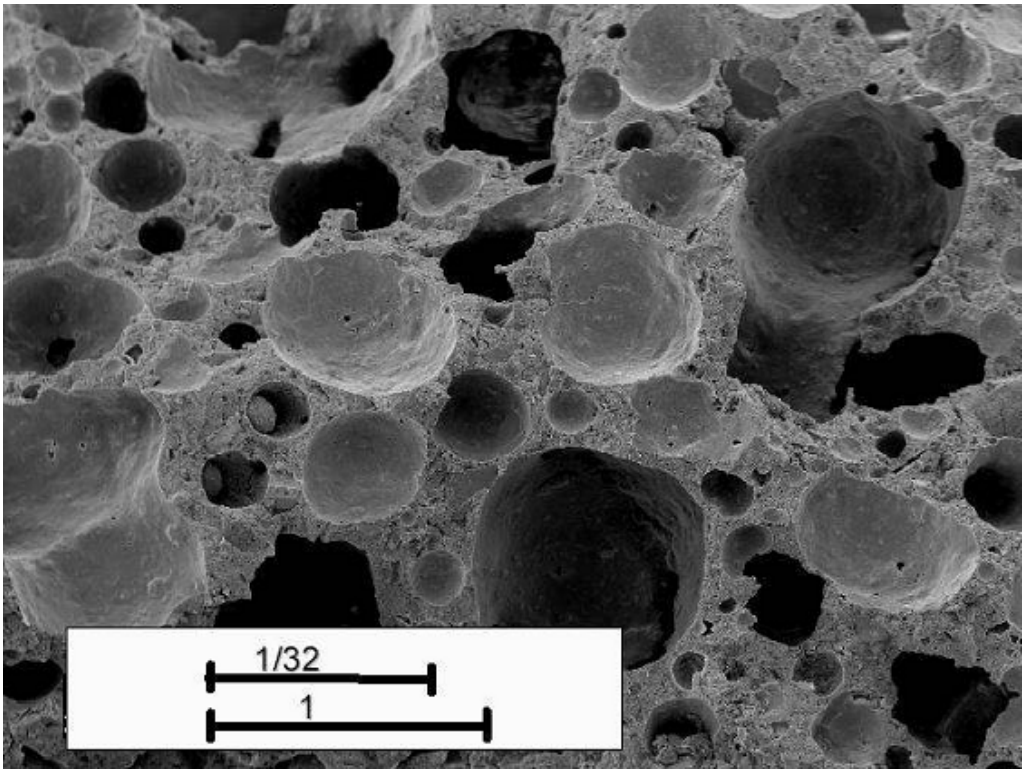
Ön yapımlı donatılı elemanların donatılı hasırları otomatik çalışan punto kaynak makinelerinde hazırlanır. Daha sonra hasırlar pas koruyucu bitüm kaplaması ile kaplandıktan sonra döküm arabalarına monte edilerek döküm yapılır. Malzemenin kendine özgü düşük yoğunluğu ve basınç mukavemeti otoklavlardaki buharlı sertleştirme sonucu elde edilir. Kesimden geçen döküm arabaları otoklavlara alınarak doymuş buharda 12 atmosfer basınç ve 190 ˚C sıcaklık altında yaklaşık 10 saat süre ile sertleştirilir. Bu şekilde malzeme mukavemete ve hacim sabitliğine erişmiş olur (Serin, 1999).

2.1.3. Gazbetonun özellikleri

2.1.3.1. Gazbetonun fiziksel özellikleri

Gazbetondaki gözenek oluşumu, mikro yapısına tesir eder ve bu da özelliklerini etkiler. Gazbetonun iç yapısı; katı mikro gözenek matrisi ve makro gözenekler olarak tanımlanabilir. Makro gözenekler maddenin içinde sürüklenen hava kabarcıklarından etkilenen kütlesel genleşmeden meydana gelmektedir ve mikro gözenekler ise bu

makro gözenekler arasındaki duvarlarda oluşmaktadırlar. Makro gözenekler çapları 60 µm'den daha büyük boşluklar olarak tanımlanabilir. Şekil 2.3'de gazbetonda oluşan mikro ve makro boşluklar görülmektedir. Bu boşluklar, boşlukların boyutları ve dağılımı; malzemenin dayanım, geçirgenlik ve rötre gibi fiziksel özelliklerinde belirleyicidir (Ünverdi, 2006).



Şekil 2.3: Genleşme sürecinde oluşan hava kabarcıkları (Ünverdi, 2006)

2.1.3.2. Gazbetonun mekanik özellikleri

Gazbetonun kuru birim ağırlığı genellikle 200-1000 kg/m^3 aralığı içinde yer almaktadır. Üreticiler genellikle kendi ürünlerinin kuru birim ağırlıklarını belirtmek durumundadırlar (Aroni ve diğ., 1993). Türkiye'de gazbeton birim ağırlığı TS EN 678'e göre belirlenmektedir ve prEN 12602'e göre birim ağırlık değerleri 300-1000 kg/m^3 arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Taşdemir ve Ertokat, 2002).

Üretimden hemen sonra piyasaya sürülen gazbetonun nem içeriği kuru ağırlığının % 25 ile 35'i arasında olabilir. Bu oran bazen ağırlıkça % 45'e kadar çıkabilmektedir. Zaman içerisinde malzeme yavaş yavaş kurur ve normal olarak kullanımdan 1-3 yıl sonra dengeye ulaşır.

Gazbetonun basınç dayanımı birim ağırlığı ile ilişkilidir ve artan birim ağırlıkla beraber basınç dayanımı da artmaktadır. Türkiye'de gazbetonun basınç dayanım testi TS EN 679'a göre yapılmakta ve küp numune esas alınarak prEN 12602'e göre karakteristik dayanımlar (fck) Tablo 2.2'de verilmektedir.

Tablo 2.2: Gazbetonun basınç dayanım sınıfları (Aroni ve diğ., 1993; Taşdemir ve Ertokat, 2002)

Dayanım Sınıfı	AAC 1,5	AAC 2	AAC 2,5	AAC 3	AAC 3,5	AAC 4	AAC 4,5	AAC 5
f_{ck} (MPa)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Dayanım Sınıfı	AAC 6	AAC 7	AAC 8	AAC 9	AAC 10			
f_{ck} (MPa)	6	7	8	9	10			

Gazbeton direk çekme deneyine tabi tutulduğunda gerçekleşen dayanım basınç dayanımının %15 ile 35 arasındadır. Eğilme deneyine tabi tutulduğunda ise ölçülecek çekme dayanımı basınç dayanımının % 20-40'ı arasında olmaktadır. Literatürde gazbetonun yarmada çekme dayanımının direkt çekme dayanımının yaklaşık % 50'si kadar olduğu rapor edilmiştir. Nem içeriğinin artışı ile bu değer çok az düşme göstermektedir (Aroni ve diğ., 1993).

2.1.3.3. Gazbetonun kimyasal özellikleri

Gazbeton çimento ve/veya kireç ile beraber silisli malzemeyle (kum, cüruf veya uçucu kül gibi), su ve gaz çıkartıcı olarak alüminyum tozu kullanılarak üretilir. Gazbetonun son kompozisyonu üretim prosesi ile şekillenmiş kristal bir yapıdır. pH değeri 10-11 arasında olup betondan daha düşüktür. Gazbeton vücut teması açısından zararsızdır, fakat sürekli bir temas olacaksa eldiven kullanılması tavsiye edilir (Aroni ve diğ., 1993).

2.2. Kilden Üretilen Duvar Elemanları

Killeri meydana getiren kil minerallerinin bileşimi esas olarak sulu alüminyum silikatlardır. Burada SiO_2 ve Al_2O_3 tabakalar meydana getirmek üzere çeşitli şekillerde birleşirler ve çeşitli kil minerallerini meydana getirirler. Genellikle bunlar

0,002 mm' den daha küçük taneli malzemelerdir (Şimşek, 2003). Kilden kerpiç, tuğla ve refrakter duvar malzemeleri üretilmektedir.

2.2.1. Kerpiç

Kumlu kilin su ile yoğrulmasından oluşan çamur kalıplanıp şekillendirildikten sonra kurutularak elde edilen yapı malzemesine kerpiç denilmektedir. Kolay bulunabilen ve ekonomik bir yapı malzemesidir. Eski çağlardan beri geleneksel bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yeni karışımlarla mekanik ve teknik özelliği değiştirilerek, modern yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Kerpiçlerin basınç dayanımları tuğla kadar olmamakla birlikte killi toprağın cinsine bağlı olarak 5-20 kg/cm^2 arasında değişmektedir. Kerpiçlerin birim ağırlıkları tuğlalara göre oldukça büyüktür. Duvarda da yine kilden yapılan harç (çamur) ile örülürler. Güneşte kurutuldukları için iç kısımlardaki kuruma ile dış yüzeyin kuruması eşit olmadığından çatlamalara neden olur. Bunu önlemek için bitkisel artıklar (saman, sap) katılarak çatlamalar büyük oranda önlenebilir.

Kerpicin en büyük dezavantajı suya karşı direncinin düşük olmasıdır. Bu özelliğini iyileştirmek için çimentolu alçılı kerpiç, uçucu külle kerpiç üretimi araştırmaları devam etmektedir (Güner ve Süme, 2000).

2.2.2. Tuğla

Tuğla jeolojik terim olarak, yapay pişirme sıcaklığı ve basınç altında stabil olan metamorfik bir kayaç olarak tanımlanmaktadır. Yapı malzemesi olarak ise tuğla, kum içeren killi toprakların su ile iyice karıştırılıp yoğrularak plastik hamur haline getirildikten sonra kalıplanıp özel fırınlarda pişirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Tuğlalar tüm dünyada 5000 yıldan daha fazla bir süredir yapı malzemesi olarak kullanılmıştır ve günümüzde de aynı amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yük taşıma ya da bölme amaçlı olarak kullanılabilmektedir (Görhan ve diğ., 2008).

2.2.3. Refrakter malzeme

Kelime olarak "inatçı" manasına gelen refrakterin teknolojik tanımı "yüksek sıcaklıklara ve bu sıcaklıklarda gaz, sıvı ve katı maddelerin fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı koyabilen malzeme" olarak yapılabilir. Geleneksel olarak; yüksek sıcaklıkta çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında kullanılan, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı ergimeden ve fiziksel-kimyasal özelliklerini koruyarak dayanabilen malzemelere refrakter malzemeler denilmektedir. Evlerimizdeki kömür sobalarından çeşitli ağır sanayi fırınlarına kadar tüm ısıl işlem fırınlarında refrakter malzeme kullanılmaktadır.

Ancak yukarıda tanımlanan özelliklere sahip metal ve alaşımlar refrakter malzeme tanımının dışında kalmaktadırlar. Refrakter malzemelerde bünye; saç kaplı tuğlalarda olduğu gibi metalik bir bileşene sahip olabilir, ama tamamen metal ve alaşım olamaz. Bu yüzden bu malzemeler şöyle tanımlanmaktadır; "Refrakter Malzemeler, bünyelerinin tamamı metal veya alaşım olmayan fakat metalik bir bileşime sahip olabilen ve refrakterliği 1500 ˚C olan malzeme ve mamullerdir." DIN 51060 standardına göre, refrakter malzemeler minimum 500 ˚C, 1500 ˚C ve 1800 ˚C sıcaklıklara dayanabilen malzemeler olarak üç grupta toplanmaktadır. Malzeme sınıflandırması yapıldığında refrakter malzemeler; seramik, cam, çimento gibi metalik olmayan inorganik malzeme sınıfına girerler (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001).

2.3. Alçıdan Üretilen Duvar Elemanları

Alçıtaşı, sedimenter kayalarla bağlantılı yaygın bir mineraldir ve yataklarının erken permian döneminde tabakalardan oluştuğu bilinmektedir (Wikipedia, 2009). Çoğunlukla orta, doğu ve güneydoğu olmak üzere Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde kaya formunda bulunur. Yataklarının her biri milyonlarca tondur ve yüksek saflıktadır. Tablo 2.3'de Şereflikoçhisar, Bala ve Çankırı'dan çıkartılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları verilmektedir. Sonuçlardan bu

bölgelerdeki alçıtaşlarının % 99 değerinde kalsiyum sülfat dihidrat içeriğine sahip oldukları görülebilir (Sargın, 1996).

Tablo 2.3: Şereflikoçhisar, Bala, Çankırı'dan elde edilen numunelerin kimyasal analiz sonuçları (Sargın, 1996)

Bileşenler	Ş.Koçhisar	Bala	Çankırı
CaO	32,76	32,66	32,07
SO_3	45,76	46,27	45,79
SiO_2	0,11	0,05	0,32
Fe_2O_3	0,04	0,007	0,05
$Al_2O_3.TiO_2$	0,02	0,003	0,2
MgO	0,03	0,08	0,57
kızdırma kaybı	20,76	20,96	20,96
$CaSO_4.2H_2O$	99,28	99,89	98,82

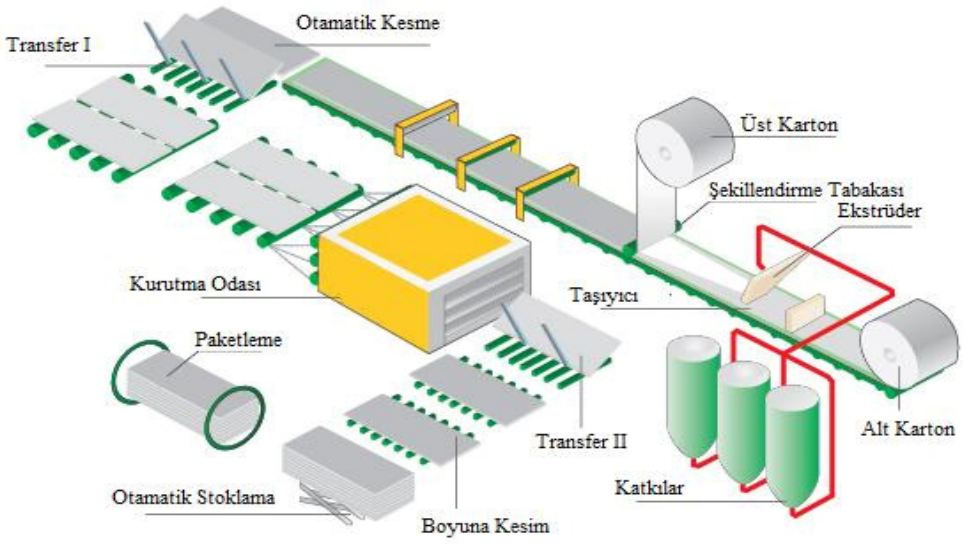
Alçı levhalar; alçı çekirdeğinin iki yanına sıkıca yapıştırılmış sağlam ve dayanıklı karton tabakanın oluşturduğu düz dikdörtgen şekilli bir üründür. Karton yüzeyler özel tip levhanın kullanımına göre değişkenlik gösterebilir ve çekirdeğe ilâve özellikler kazandırmak üzere katkı maddeleri ilâve edilebilir. Uzun kenarlar kartonla kaplanır ve uygulamaya göre şekil verilir. Levhalar, çivi, vida, alçı bazlı veya diğer bazlı yapıştırıcı gibi malzemelerin kullanıldığı çeşitli metotlarla tespitlenebilir.

Kullanım amacına göre alçı levhalar, tip, şekil, kalınlık ve kenar yapısına göre seçilir. Alçı levhalar, duvarlara kuru yüzey kaplama tabakası, tavana doğrudan tespitlenmiş tavan kaplaması veya asma tavan, bölme elemanı veya taşıyıcı kolon ve kirişe giydirme tabakası olarak kullanılabilir. Bu levhalar, döşeme ve kaplama elemanı olarak da kullanılabilir (TS EN 520, 2006).

Yapı malzemesi olarak kartonlu alçı levhalar ilk kez 22 Mayıs 1894 tarihinde ABD'de Augustine Sackett'in aldığı patent ile ortaya çıkmıştır. ABD'de kısa sürede yaygınlaşan kartonlu alçı levhaların kullanımı, 20. yüzyılın başına gelindiğinde büyük miktarlara ulaşmıştır. İlk zamanlar açık kenarlı olarak yapılan üretim, günümüzdeki kapalı kenarlı biçimini 1910 yılında almıştır (Wikipedia, 2009).

Alçı levhanın bütün üretim aşaması; hammaddenin madenden çıkarılması, parçalanması, ince toz haline gelinceye kadar öğütülmesi, alçı levha formunun sonunda priz alması ve sertleşmesi aşamalarını kapsamaktadır.

Ocaklar ve yer altı madenlerinden elde edilen alçıtaşı (başlıca kalsiyum sülfat dihidrat) uygun boyutlara parçalandıktan sonra takriben % 75 bağlı su, parçalanmış kayaların fırında yaklaşık 175 ^{o}C'ye kadar pişirilmrsiyle atılmaktadır. Alçıtaşının dehidratasyonu kalsinizasyon olarak adlandırılır. Kalsine edilmiş alçıya uygun miktardaki su eklendiğinde sıvı alçı harç karışımı alttaki karton tabakanın üstüne dökülür ve üsteki karton tabaka uygulanır. Daha sonra bu levha, harç sertleşmeden önce alçı levha formunu veren silindirlerden geçirilir. Karton kimyasal ve mekanik olarak alçı çekirdeğe tutunur. Son olarak levhalar arzu edilen boyutlarda kesilir ve fırında içerdiği aşırı nem uzaklaştırılır. Bu üretim süreci Şekil 2.4'de şematik olarak gösterilmektedir (Nguong, 2004).



Şekil 2.4: Tipik alçı levha üretim prosesi

2.4. Pomzadan Üretilen Duvar Elemanları

2.4.1. Pomza (Bims)

Pomza madeni, dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son 20 yılda girmeye başlayan ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir kayaçtır.

TS 3234 standardına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (Bims Sanayiciler Derneği, 2006; Erdoğan, 2007). Ayrıca pomzanın kırma ve eleme suretiyle beton yapımında elverişli hale getirilmiş şekline de pomza agregası veya bims agregası adı verilmektedir (Erdoğan, 2007; Çağlayan ve Kahriman, 2003).

Pomza (bims) madeni binlerce yıl önce ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalıların görkemli yapılarının birçoğunda hala gözlemlenebilmektedir. Roma duvarlarının inşaatında, su kanallarında ve daha pek çok anıtsal yapılarda kullanılmıştır. A.B.D.'inde boyutlandırılmış pomza Kaliforniya'da 1851 yılından beri inşaatlarda kullanılmaktadır. Pomza, çimento ile karıştırılarak Los Angeles su kemerinin yapımında 1908'den 1918'e kadar kullanılmıştır. A.B.D.'nde hafif-yalıtımlı beton agregası olarak 1935'te kullanılmaya başlanmış ve bundan sonra da düzenli bir artış göstermiştir. Puzolanik aktivitesinin yüksek oluşu sebebiyle puzolan ve portland çimentoları ile karıştırılarak Kaliforniya'daki Friant ve Pardee barajlarında, su kanallarında, Oklahoama'daki Altus Baraj gövde inşaatında kullanılmıştır. Almanya'da 1980 yılından önce önemli bir pomza üretimi söz konusu iken son yıllarda üretimde önemli düşüşler görülmüştür. Mevcut tek yataktan üretilen pomza sadece inşaat sektöründe kullanılmakta olup, yeterli olmaması sebebiyle diğer alanlarda kullanılan pomza ile birlikte ithalata gidilmiştir. Son yıllarda ısı ve ses yalıtımına verilen önemin bir göstergesi olarak birçok ülkede doğal, hafif ve yalıtım özelliği sağlayan hafif agregalı yapı elemanlarının üretimi ve kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Ülkemizde üretilen (yaklaşık 1.250.000 ton/yıl) pomzanın yurt içinde tüketim miktarının tamamına yakını inşaat sektöründe hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmaktadır. Çok az bir oranda tekstil sektörü ve ziraat sektöründe kullanımı yanında farklı endüstriyel alanlarda doğrudan veya yarı mamül olarak kullanımı bulunmamaktadır (Bims Sanayiciler Derneği, 2006).

2.4.2. Bimsblok üretimi

Tam ya da yarı otomasyonlu sistemlerde üretim prosesinde önceden hazırlanan karışım reçetesi verileri bilgisayara yüklenir. Karışım reçetesinde hazırlanacak hafif beton karışımına girecek agrega gruplarının ağırlıkça veya hacimce oranları, çimento dozajı ve su oranı tespit edilmiştir. Bu programa göre agrega silolarından belirli oranlarda alınan agrega grupları mikser ünitesine boşaltılır. Miksere alınan agrega grupları ve çimento belirli bir süre karıştırılır. Kuru karışımın hazırlanmasından hemen sonra bu karışıma su ilave edilerek hafif beton karışımı döküme hazır hale getirilir. Hazırlanan kuru karışım, presleme silosuna boşaltılır. Ürün tipine göre karışım kalıplara alınarak pres ünitesinde paletler üzerinde şekillendirilir. Pres ünitesinde şekillendirilen yaş ürünler dayanım kazanmak üzere stoklanır. Mukavemet kazanan ürünler satışa arz edilir (Bims Sanayiciler Derneği, 2006).

Bimsbloklarda basınç mukavemet değeri minimum 20 kg/cm^2, ortalama 25 kg/cm^2 veya üzerinde bir değerde olması gerekir. Asmolenlerde kesme yükü değeri minimum 200 kg/cm^2 değerinde olması istenmektedir (Erdoğan, 2007; Serin, 1999). TS EN 771-3'e göre, pomzadan mamul bimsblok yapı elemanları grubundan, boşluklu duvar blokları ve asmolen olarak üretilen malzemelerin tiplerine göre birim hacim ağırlıkları 0,8-1,0 g/cm^3 olabilmektedir. Isı iletkenlik hesap değeri yönü ile de ön plana çıkan bims bloklar aynı kategorideki diğer malzemelerle bu yönüyle karşılaştırılırsa şöyle bir özetleme yapılabilir:

"1. Tuğla duvarların yoğunluğu 1200-2200 kg/m^3 arasında değişirken, λ_h= 0,39-1,03 kcal/mh˚C olmaktadır.

2. Gazbetonla örülen duvarlar için yoğunluk 400-800 kg/m^3 arasında değişirken, λ_h= 0,17-0,25 kcal/mh˚C olmaktadır.

3. Genleştirilmiş perlit betonundan dolu bloklarda yoğunluk 500-800 kg/m^3 iken, λ_h= 0,22-0,30 kcal/mh˚C olmaktadır.

4. Boşluklu briketlerde yoğunluk 500-1400 kg/m^3 arasında iken, λ_h= 0,25-0,63 kcal/mh˚C olmaktadır.

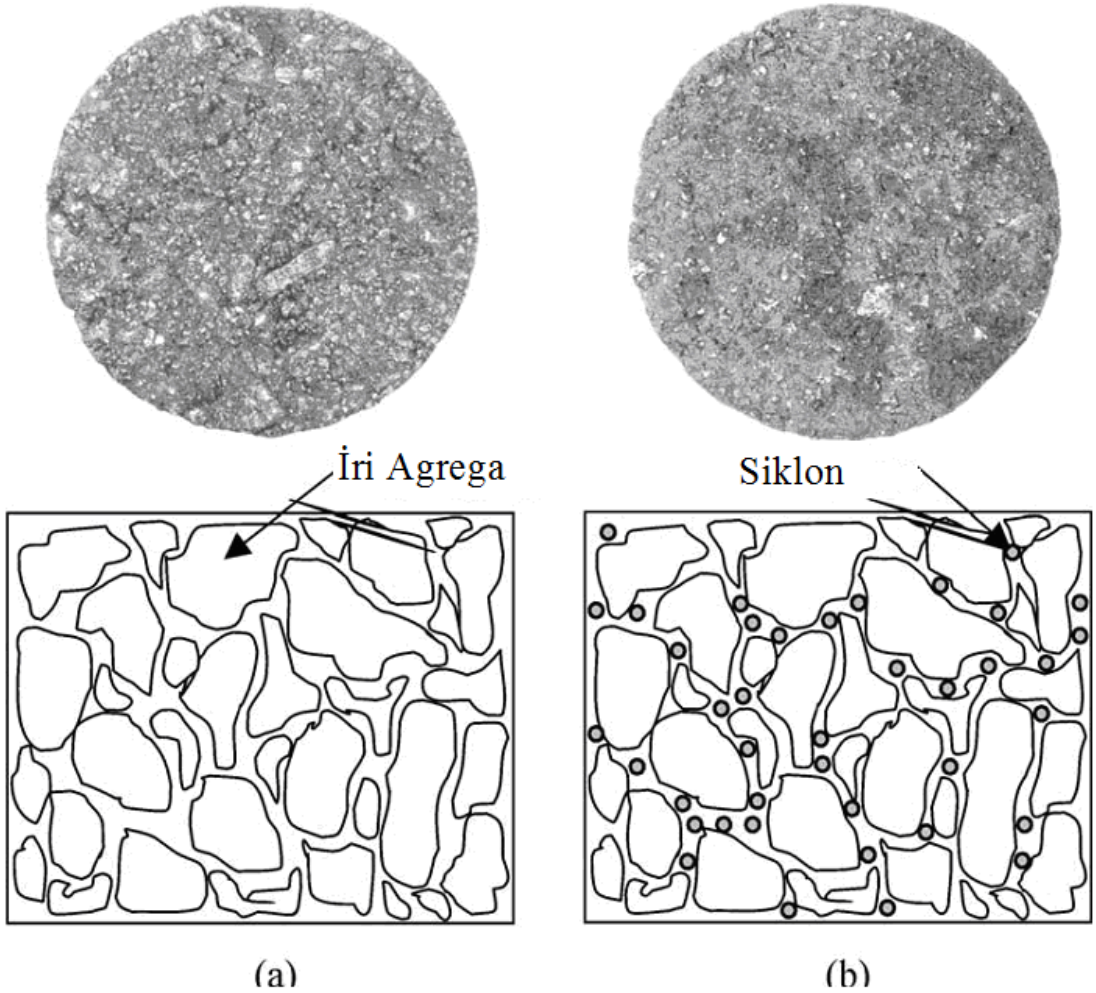
5. Doğal bimsle yapılmış bloklarda ise yoğunluk 500-800 kg/m^3 iken, λ_h= 0,17-0,24 kcal/mh˚C olmaktadır."

Burada görülüyor ki, bimsbloğun ısı yalıtımı tuğla ve boşluklu briketten oldukça, eş yoğunluktaki perlitten biraz iyi, gazbetonla ise hemen hemen aynıdır (Köse ve diğ., 1997).

3. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ghosal ve Self (1995) uçucu külde bulunan siklon içeriğini ve dane boyutu ile yoğunluk ilişkisinin araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Bunun için ABD'de bulunan termik santrallerin üretmiş olduğu uçucu külleri temsil eden, savurmalı ayrım metodu ile 1,6 ile 3,2 gr/cm^3 arasında birim ağırlık sınıflarına ayrılmış altı farklı kül kullanılmıştır. Bu küllerin dane dağılımının 1–200 μm aralığında olduğu belirlenmiştir. Yoğunluğu 2,2 gr/cm^3 olan bir sıvı kullanan savurmalı ayırım metodu küllerdeki siklonun kütle oranını tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu oran ağırlıkça %5 ile 95 arasında değişmektedir. Siklon içeriğinin kömür sınıfı ile görünürde bağıntılı olmadığı, ancak kömürün toplam mineral içeriği ile kesin olarak ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Siklonik bölümlerin ortalama çaplarının siklonik olmayan kısma oranının 2/3 olduğu bulunmuştur. Dane boyutu verisi küllerdeki Fe_2O_3 dağılımını belirlemek için kullanılmıştır.

Tiwari ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada siklonun ses yutabilen hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır ve çimento matrisi ve asfalt betonunun akustik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı hacim oranlarında siklon içeren çimento ve asfalt betonu numuneleri 0–4000 Hz frekans aralığının üzerinde akustik özelliklerini belirlemek için test edilmiş ve elde edilen sonuçlar çimento matrisine hacimsel olarak % 40 oranında siklon eklemenin gürültü katsayısını %100 azalttığını göstermiştir. Siklonca zengin çimentonun tersine asfalt betonu ses yutma kabiliyeti hacimsel oranda siklon artışıyla beraber düşmüştür. Bu düşüşün Şekil 3.1'de görüldüğü gibi siklon danelerinin asfalt betonunda bulunan boşlukları doldurmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır.



Şekil 3.1: (a) Siklon olmayan asfalt numunenin yapısı (b)zengin siklon içeren asfalt numunenin yapısı (Tiwari ve diğ., 2004)

Barbare ve diğ. (2003) ise 10 ile 300 μm ve 0,67 gr/cm^3 özgül ağırlığa sahip siklonun düşük ağırlıklı beton üretiminde ince kum olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bunun için siklonun kaybettiği ve kazandığı neme bağlı olarak siklon ile üretilen kompozitlerdeki su kaybı/kazanımı araştırılmıştır. Siklon betonundaki su penatrasyonunun zamana bağlı gelişimi Washburn kinetiği kullanılarak modellenmiştir. Bu model kullanılarak elde edilen sonuçlar gözenekler arası bağlantının sınırlı olduğunu ve permeabilitenin düşük olmasına neden olduğunu göstermiştir. Beton SEM fotoğrafları poroz boşluklarının 2–5 μm aralığında olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle bu koşullarda yapılan deneylerin diğer ortamlara bırakılmış nemli siklon için kuruma zamanını tahmin etmede kullanılabileceği görülmüştür. Normal beton gibi siklon betonundan su buharı akışı kuruma çevrimi süresince nem içeriği ile lineer olamayan bir değişim göstermiştir.

Topçu ve Işıkdağ (2008) ısı ve ses yalıtımına katkısı olan, yapılarda ekonomik fayda sağlayan genleştirilmiş perlit agregaları üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 300, 350 ve 400 dozajlarında CEM II 32.5R ve CEM I 42.5R çimentosu içeren 0, 15, 30, 45 ve 60 hacimsel ikame oranları bulunan genleştirilmiş perlit agregalı betonların özelliklerini incelemişlerdir. Taze ve sertleşmiş betonlar üzerinde çeşitli testler uygulamışlardır. Boyutları 150x150x150 mm kübik, Ø150x300 mm silindirik ve 100x100x500 mm prizmatik olan numuneler üreterek 28 gün sonra tahribatlı ve tahribatsız testlere tabi tutmuşlardır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 300 dozajlı betonların minimum birim ağırlıklarının 1800 kg/m^3 olduğu görülmüş, % 30 ikame oranına sahip genleştirilmiş perlit agregalı betonların basınç dayanımı 20 ile 30 MPa arasında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar bazı mekanik özelliklerinde kayıplar olmasına karşın genleştirilmiş perlit betonlarının uygun ikame oranlarında hafif ağırlıklı beton olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Lanzo´n ve Garcı´a-Ruiz (2008) genleştirilmiş perlitin çimento harçlarındaki etkilerini incelemişleridir. Genleştirilmiş perlit normalden daha fazla su-çimento oranın çıkmasına neden olur. Yaptıkları çalışmada perlitin karışım suyu, yoğunluk, kıvam, işlenebilirlik ve su tutuculuk gibi harçların taze haldeki parametreleri üzerinde sahip olduğu etkiyi dikkatle incelemişlerdir. Ayrıca perlitin kılcal geçirimlilik, su emme, mekanik dayanımlar üzerindeki rolünü araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre işlenebilme süresi ve su tutuculuk olumlu yönde gelişirken kılcal geçirimlilik, su emme ve mekanik dayanımların %1,77'nin üzerinde olumsuz yönde etkilendiğini görmüşlerdir.

Topçu ve Işıkdağ (2007) yaptıkları çalışmada yüksek ısı iletkenlik direncine sahip kil tuğla üretimini araştırmışlardır. Isı izolasyonu için oldukça faydalı olan ve dünya rezervinin %70'nin Türkiye'de bulunduğu perlit kullanılmıştır. Hafifliği, termal ve ses izolasyonu özellikleri perliti tuğla üretiminde hafif agrega olarak kullanılacak mükemmel bir malzeme yapmıştır ve yüksek ısı direncine sahip tuğla üretimi mümkün olmuştur. Perlitli tuğla üretiminde çimento, jips, kireç bitüm ve kil gibi bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Değişik perlit-kil oranlarında standart ölçülerdeki tuğlalar üretilerek, farklı birim ağırlık, basınç dayanımı, hacim değişikliği ve ısı iletkenlik değerleri elde edilmiştir. En iyi kombinasyona sahip karışım özellikleri

belirlenmiş ve maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar kombinasyon özelliklerine göre test edilmiş ve perlitli tuğlaların özellikleri çeşitli ağırlıklarda belirlenmiştir. Sonuç olarak en iyi karışıma %30 perlit içerikli tuğlaların sahip olduğu görülmüştür.

Yılmazer ve Özdeniz 2005'te yaptıkları bir çalışmada genleştirilmiş perlitli plakaların ses emmeleri üzerinde nem içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Bu plakalar ses yutmada kullanıldıklarından bu çalışma için seçilen akustik parametre ses yutma katsayısı olmuştur. Gerçekleştirilen deneyler nemin plakaların ses yutma katsayılarını düşürdüğünü ve %50 nem içeriği ile kuru durumda ciddi bir fark yaşanmadığını göstermiştir. Farklı karışımlar hazırlanarak test edilmiştir. Sodyum silikatlı genleştirilmiş perlit parçacıkların nem direncini arttırdığı ve karışımlara mineral lif eklemenin plakaların dayanımlarını ve ses yutma katsayılarını yükselttiği görülmüştür.

Değirmenci (2008a) fosfojipsin uçucu kül ve kireç ile birlikte inşaat sektöründe kullanım potansiyelini araştırmıştır. Fosfojips, çimento bağlayıcısı yapmak için ham ve kalsine edilerek kullanılmıştır. Fosfojips 2 saat 150 °C'de ısıtılarak kalsine edilmiş ve alçıya dönüştürülmüştür. Karışımlar %10 kireç oranında sabit tutularak, değişik uçucu kül ve fosfojips yüzdelerinde oluşturulmuştur. Her karışımın su içeriği akma masasında 110-115 mm yayılma yapacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde hazırlanmış numuneler 20 °C sıcaklıkta, %90-95 bağıl nemde 24 saat bir nem odasında depolanmış, depolamadan sonra 28 gün boyunca kür sıcaklığı 20 ± 2 °C olacak şekilde suda ve havada olmak üzere iki farklı kür koşulunda kür edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre de suda yapılan kür fosfojips eklenmemiş numuneler hariç dayanımda bir azalmaya neden olmuştur. Ayrıca fosfojipsin ham ve kalsine edilerek kullanılması numune dayanımlarında önemli farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Fosfojipsin ham olarak %50 oranında kullanılması ile 28. günde 2,29 MPa'lık bir basınç dayanımı elde edilirken, aynı oranda kalsine edilmiş fosfojipsin kullanılması durumunda 13.76 MPa'lık bir değere ulaşılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre fosfojips- uçucu kül- kireç karışımlarının tuğla ve blok gibi iç duvar malzemesi üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Değirmenci (2008b) bir başka çalışmasında fosfojipsin farklı sıcaklık ve sürelerde kalsinasyon koşullarını araştırmıştır. Bu süre ve sıcaklıklarda kalsine edilmiş fosfojips kullanılarak, uçucu kül ve kireç ile üretilen harç numunelerinin basınç dayanımlarına ve kalsinasyon koşullarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada puzolonik reaksiyonu başlatmak amacı ile %10 oranında sönmüş toz kireç kullanılmıştır.

Değirmenci bu çalışmasını beş aşamaya ayırmıştır. Birinci aşamada 150 °C sabit sıcaklıkta 1, 2, 3 ve 4 saat boyunca kalsine edilmiş fosfojipsle hazırlanmış uçucu kül ve kireç karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı incelenmiştir. En yüksek basınç dayanımı 13,33 MPa ile 3 saatlik kalsinasyon süresi için elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında aynı sürede farklı kalsinasyon sıcaklıklarının basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buna göre iki saat süre ile 100, 125, 150, 175 ve 200 ^{0}C sıcaklıklarda fosfojips kalsine edilerek numuneler hazırlanmış ve 28 günlük basınç dayanımlarına bakılmıştır. Kalsinasyon sıcaklığının artmasıyla beraber dayanımın da arttığı 150 °C' den sonra sıcaklık artışının olumsuz etki yarattığı gözlenmiştir.

Üçüncü aşamada ise sabit kalsinasyon süresinde ve sabit sıcaklık derecesinde farklı miktarlarda fosfojips içeren uçucu kül ve sönmüş toz kireçten oluşan karışımların basınç dayanımları incelenmiştir. Bunun için 500, 1000, 1500 ve 2000 gram fosfojips 2 saat süre ile 150 °C' de kalsine edilmiştir. Üretilen numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde artan fosfojips miktarı ile dayanımın da azaldığı tespit edilmiştir.

Araştırmanın dördüncü aşamasında ise 2 saat süre ile 150 °C' de 500 gram kalsine edilmiş fosfojips, uçucu kül ve kireç karışımında basınç dayanımının zamana bağlı değişimi çalışılmıştır. Hazırlanan numunelerin 7, 14, 21 ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiş ve geçen zamana bağlı dayanım artışı olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise kalsinasyon işlemine tabi tutulmadan %60 fosfojips, %30 uçucu kül ve %10 kireçle hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımları tayin edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan karışımların basınç dayanımı 2,36 MPa olarak elde edilmiştir.

Değirmenci (2005) diğer bir çalışmasında ise düşük basınç dayanımına sahip ve suya karşı direnci az olan kerpicin bu zayıf yönlerinin endüstriyel atıklar kullanarak giderilmesini araştırmıştır. Bunun için gübre fabrikası atığı olan fosfoalçıyı ve termik santral atığı uçucu külü kullanmıştır. Daha önce yapılan kerpiç stabilizasyonu çalışmalarına dayanarak bu çalışmada toplam karışım ağırlığının %10'u kadar sönmüş toz kireç ve % 20'si oranında uçucu kül kullanılmıştır. Fosfoalçı/toprak oranları ise 0,25 ile 2,50 arasında değişmektedir. Karma suyu miktarı akma masasında % 110 ± 5 civarında yayılma sağlayacak şekilde tayin edilmiştir. Basınç dayanımı, kuru birim ağırlık ve kılcal su emme deneyleri için küp numuneler hazırlanmıştır. Katkısız numunelerin 28 günlük basınç dayanımı ortalaması 0.76 MPa' dır. Bu değer öngörülen değerlerin altında gerçekleşmiştir. Fosfoalçı, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 2.28 MPa ile 3.78 MPa arasında bulunmuştur. Bu değerler gerekli görülen değerleri karşılamaktadır. Katkısız numuneler ise 1 saatten sonra su içinde tamamen dağıldığından 24 saat su içinde tutulduktan sonra basınç dayanımlarını ve kılcal su emme değerlerini tayin etmek mümkün olamamıştır. Katkılı numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları 1.779×10^{-5} cm^2/sn ile 3.267×10^{-5} cm^2/sn arasında değişmektedir. Fosfoalçı katkısının kılcallıkla su emme değerlerini arttırdığı ve suya karşı dayanıklılığı bir miktar düşürdüğü görülmüştür. Fosfoalçı, kireç ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan kerpiç örneklerinin kuru birim ağırlıkları 1.40 kg/lt ile 1.50 kg/lt arasında değişmektedir. Fosfoalçı/katkı oranının artışı kuru birim ağırlıkta azalmaya neden olmaktadır. Katkısız kerpiç numunelerinin kuru birim ağırlıkları 1.69 kg/lt olarak elde edilmiştir.

Garg ve diğ.(1996) kalsine edilmiş fosfojips, uçucu kül ve kirece dayanan çimento bağlayıcısının durabilitesinde kür sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Bağlayıcı durabilitesi suda ve hızlandırılmış yaşlandırmada, 27 °C' den 60 °C' ye sıcaklıklarda ısıtma ve soğutma çevrimlerinin yanı sıra birbirini izleyen ıslanma ve kuruma performansı ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar bağlayıcı dayanımının düştüğünü, kütle kaybının maruz bırakılan sıcaklık ve çevrimlerdeki artışla birlikte arttığını göstermiştir. Dayanım ve kütle kaybındaki değişimler diferansiyel termal analiz ve elektron mikroskop taraması ile belirlenmiştir. Dayanımdaki maksimum düşüş 60 °C' de gerçekleşmiştir.

Singh ve Garg (1995) ise kalsine edilmiş fosfojips, uçucu kül, hidrate kireç ve portland çimentosuna dayanan çimento bağlayıcısının formülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Dayanım özelliklerini ve çimento bağlayıcısının hidratasyonunu %90 üzerinde bağıl nem ile 50 °C oda sıcaklığında araştırmışlardır. Diferansiyel termal analiz ve taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla incelenen çimento bağlayıcısının hidratasyonu göstermiştir ki, ileriki yaş dayanım gelişimi C-S-H ve etrenjitin oluşumuna bağlıyken, çimento bağlayıcısındaki erken yaş dayanımının çimentonun hidratasyonu ve pişirilerek öğütülmüş jipsin sertleşmesine bağlı olduğu görülmüştür.

Kumar (2000) uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının basınç dayanımı, su emme, yoğunluk ve durabilitesini incelemiştir. FaL-G tuğlalarının özelliklerini sıradan pişirilmiş kil tuğlaları ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, bu tuğlaların daha hafif olduğunu, agresif ortamlarda durabil olduğunu ve yapı inşaatında kullanılmaları için yeterli dayanıma sahip olduklarını göstermiştir.

Yine Kumar (2001) yukarıda yapmış olduğu çalışmaya benzer şekilde uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının ve delikli blokların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ayrıca bu tuğlaların ve delikli blokların durabilitelerini araştırmıştır. Uçucu kül-kireç-fosfojips (FaL-G) tuğlalarının ve delikli blokların yük taşıyan duvarlarda kullanımları için yeterli dayanıma sahip oldukları gözlemlemiştir. Yüksek miktarda uçucu kül içeren FaL-G tuğlaların yük taşımayan duvarlar ve bölmeler için çok katlı apartmanlarda kullanılabilir olduğunu düşünmektedir.

Cultrone ve Sebastián (2009) yaptıkları bir çalışmada tarihi yapıların restorasyon işlerinde orijinal tuğlalarla birlikte kullanılabilecek yeni tuğlalar üretmeyi hedeflemişlerdir. Bunun için 800 ile 1000 °C arasında pişirilmiş kompozisyon olarak iki farklı tuğla grubunun teknik özelliklerinin araştırmışlardır. Özellikleri etkilenmeden kalabilmesine rağmen büyük miktarlarda uçucu külün tuğlalara eklenmesi renk değişimine neden olmaktadır. Ancak restorasyon işlerinde aynı rengin sağlanması önemlidir. Bu nedenle renk değişimi olmaksızın tuğlalara eklenebilecek uçucu kül miktarını belirlemek için renk ölçer kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar %10'dan fazla uçucu kül kullanılması halinde önemli renk değişimleri yaşandığını göstermiştir. Ayrıca tuğla dokusu alan emisyon taramalı

elektron mikroskobu (FESEM) ile incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda 0,1 ile 10 mikron aralığında çapa sahip küre biçiminde uçucu kül tanecikleri içeren numuneler haricinde tuğlaların dokusal olarak herhangi bir değişime uğramadıkları görülmüştür. Yapılan hidrik inceleme sonucunda uçucu kül, tuğlaların su emme, kuruma indeksi, görünür porozite gibi özellikleri üzerinde iyileştirici etki yaratmamış, fakat hafifletilmesini sağlamıştır. Uçucu kül tuğlaları tuz kristalleşmesi çevrimine maruz bırakıldığında geleneksel tuğlalardan daha az zarar görmüştür.

Özkul ve Koral (1995) Afşin-Elbistan Termik Santralinden elde edilen uçucu küllerin tuğla blok üretiminde kullanılma olanaklarını araştırmışlardır. Uçucu külü aktive etmek amacıyla değişik oranlarda kireç, alçıtaşı ve çimento tek başlarına veya bir arada denenmiştir. Buna göre uçucu kül+kireç (K), uçucu kül+alçıtaşı (A), uçucu kül+kireç+çimento (KÇ) ve uçucu kül+alçıtaşı+çimento (AÇ) karışımları hazırlanmıştır. Ayrıca AÇ ve KÇ karışımlarına ağırlıkça %20, %40 ve %60 oranlarında agrega ikame edilerek numuneler hazırlanmıştır. Toplam katı ağırlığın %25'i kadar su ile karıştırılarak elde edilen karışımlar, kalıp içerisinde 20 MPa basınç altında sıkıştırılarak çapı 5 cm yüksekliği 10 cm olan silindirik numuneler üretilmiştir. Bu numuneler 20 °C ve %100 bağıl nem oranına sahip ortamda saklanmıştır. Gerçekleştirilen basınç deneyleri sonucunda özellikle alçıtaşı ve çimento ile aktive edilen ve basınç altında sıkıştırılarak üretilen uçucu küllü örneklerin basınç dayanımları 15 MPa değerine kolaylıkla ulaşabilmekte ve 19,5 MPa' a varan dayanımlar elde edilebilmektedir. Karışımlara agrega ikame etmek kireç ve çimentolu numunelerde dayanım artışına neden olurken alçılı ve çimentolu numunelerde dayanım azalmasına neden olmaktadır. Üretilen numunelerin su emme değerleri agrega miktarı arttıkça azalmış, ancak standartlarda istenen sınır değerlere ulaşamamıştır.

Kızgut ve diğ.(2001) yukarıdaki çalışmaya benzer şekilde Çatalağzı Termik Santralı uçucu küllerinden tuğla üretim olanaklarının araştırmışlardır. Çalışmalarında Bartın Işıklar Tuğla Fabrikası'nın tuğla üretiminde kullandığı tuğla toprağı ile Çatalağzı Termik Santralı uçucu külü belirli oranlarda karıştırılmış ve 50 mm' lik silindirik numuneler hazırlanmıştır ve metalurjik bir fırında toplam 26 saat süreyle pişirilmiştir. Yapılan deneylerde uçucu kül+tuğla toprağı karışımının kül ve su

içeriğinin etkileri incelenmiştir. Deneylerde kül % 15, 17.5, 20 su içerecek şekilde hazırlanarak kullanılmıştır. Numunelerin en yüksek tek eksenli basınç dayanım değerleri; % 25, % 30 ve % 35 kül içeriği için sırasıyla 65,9 MPa, 62,7 MPa ve 65,4 MPa olarak belirlenmiştir. Su içeriğinin etkisi ise farklı kül içeriklerinde değişik olmuştur. Numunelere TS 705'de tanımlanan "zararlı manyezi ve kireç" deneyi ile "dona dayanıklılık" testleri uygulanmıştır. Testler sonrası dayanım değerleri yalnızca, % 25, 30, 35 kül ve külde %15 nem içeren grup için belirlenmiştir. Zararlı manyezi ve kireç deneyinden sonra en düşük dayanım % 35 kül karışımında 61,4 MPa, en yüksek dayanım ise %0 uçucu kül karışımında 68,2 MPa olarak gerçekleşmiştir. Dona dayanıklılık deneyinde de benzer şekilde en düşük dayanım %35 uçucu kül karışımında 62,3 MPa, en yüksek dayanım da %0 uçucu kül karışımında 67,1 MPa şeklinde gerçekleşmiştir.

Çiçek ve Tanrıverdi (2007) Türkiye'de her yıl termik santrallerden atık olarak üretilen ve sadece küçük bir kısmı beton ve çimento üretiminde kullanılan uçucu kül, kum ve sönmüş kireç ile hazırlanan karışımların otoklavlanarak hafif tuğla üretiminde kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Çalışmada ağırlıkça optimum uçucu kül-kum-kireç karışım oranı, presleme basıncı, buhar basıncı, ve kürleme süresinin ne olması gerektiği incelenmiştir.

İlk olarak kumun tuğla basıncı üzerindeki etkisi çeşitli karışım oranları ile tespit edilmeye çalışılmış. Elde edilen sonuçlara göre % 40 Kuvars kumu+% 50 Uçucu kül+% 10 kireç karışımının 37,4 kgf/cm^2 ile en yüksek değer olduğu görülmüştür. Ancak % 20 Kuvars kumu+% 70 Uçucu kül+% 10 kireç karışımı bu değerin %86'sı olan 32,1 kgf/cm^2 verdiğinden ve çalışmanın amacının mümkün olduğu kadar yüksek oranda uçucu külü değerlendirmek olduğundan % 20 kum katkısı optimum olarak düşünülmüştür.

Optimum % 20 kuvars kumu katkı oranında, kireç miktarının tuğlanın dayanımına etkisini görmek ve en uygun kireç oranını belirlemek için hazırlanan numunelerin basınç dayanımlarına göre en yüksek basınç dayanımı %12 kireç katkısı ile 47,5 kgf/cm^2 olarak elde edilmiştir.

Presleme basıncının üretilen tuğlalar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Bunun için % 68 uçucu kul, % 20 kuvars kumu ve % 12 kireç içeren karışım ile <5, 100, 200, 250 ve 300 kgf/cm^2 basınç altında preslenerek tuğlalar üretilmiştir. Bu tuğlaların en büyük basınç dayanımı 61,7 kgf/cm^2 ile 200 kgf/cm^2 presleme basıncına aittir. Bu presleme basıncının üzerinde preslenmiş numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeninin ise yapısal deformasyon olabileceği düşünülmüştür.

Otoklavlama basıncının etkisi araştırılmış ve numuneler 0,5, 1, 1,5 2, MPa otoklavlama basıncına 9 saat süre maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak en uygun otoklavlama basıncının 1,5 MPa buhar basıncı olduğu görülmüştür. Daha yüksek buhar basıncının tuğla basınç dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Kürleme süresinin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde 6 saatlik kürleme süresinden sonra basınç dayanımında yaklaşık %20'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle 6 saatlik kürleme süresinin tuğla dayanımı üzerinde daha uygun olduğu kabul edilmiştir.

Doğada bol miktarda bulunan ve öğütülmüş kuvars kumundan daha ekonomik olan dere kumunun kum katkılı uçucu küllü tuğla yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı tane boyutlarında (1, 0.5, 0.2, 0.1 mm) sınıflandırılmış doğal kum ile belirlenen optimum deney koşullarında tuğla örneklen elde edilmiştir. Doğal kum ile yapılan tuğlaların 0.2 mm kuvars kumu ile yapılanlara oranla daha az dayanım gösterdiği görülmüştür. Doğal kum ile yapılan tuğlaların dayanımlarının düşük olması bu kumun içerdiği SiO_2 oranının daha az olmasına bağlanmıştır.

Üretilen tuğla numuneleri üzerinde yapılan su emme deneylerine göre aynı deney şartlarında hazırlanan tuğlaların su emme değerleri genel tuğla standartlarına göre oldukça yüksek çıkmıştır. Bu nedenle bu tuğlaların yapı sektöründe kullanılması uygun görülmüştür.

Uçucu küllü tuğlaların ısı iletim katsayısının 0.34 W/m.°K olduğu tespit edilmiştir. Bu tuğlaların TS 704 ve TS 705 standartlarında tanımlanan tuğlalara (1800 kg/m^3 pişmiş tuğlada: 0.7 W/m.°K) göre ısı yalıtımının çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Lingling ve diğ. (2005) düşük kaliteli nemli durumdaki uçucu külün tuğla üretiminde kullanılan kille hacimce yüksek oranda yer değiştirmesiyle tuğla üretim olanaklarını incelemişlerdir. Uçucu kül hacimce %50'den %80'e varan oranlarda kilde ikame edilmiş ve az bir su ile karıştırılarak 60x60x25 mm boyutlarındaki kalıplara dökülmüştür. Daha sonra 4 saat 60 °C ve 6 saat 100 °C 'de bekletilmiştir. Tuğlalar sıcaklık programlaması olan bir elektrikli fırında 500 °C altında saatte 100 °C, 500 ^{0}C üstünde ise maksimum sıcaklığa saatte 50 °C artacak şekilde pişirilmiş ve 8 saat sinterleşme sıcaklığında tutulmuştur.

Hazırlanan numunelerin pişirilmeden önce plastisite indeksi araştırılmıştır. Kilin plastisite indeksi 13,8 iken, %50 uçucu kül ikame edildiğinde bu değer 9,1, %70 ikame edildiğinde 6'ya, % 80 oranında ikame edildiğinde ise 3,8'e gerilemiştir. 220x112x65 mm boyutlarında %70 uçucu kül ikame ile Çin standartlarına göre tuğlalar hazırlanmıştır. Basınç dayanımı testi sonucunda 16,9 MPa bir dayanım elde edilmiştir ve bu dayanım da standartların istediği değeri karşılamaktadır. Bu tuğlaların birim hacim ağırlığı 1490 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Yirmi dört saat suda bekletildikten sonra tuğlaların su emmesi %19 olarak gerçekleşmiştir. Beş saat suda kaynatıldığında ise su emme %26 olmuştur. Kireçten dolayı herhangi bir çatlak oluşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca bu tuğlalar donma-çözünme deneyine tabi tutulmuş ve 15 çevrim sonunda iyi durumda oldukları tespit edilmiştir.

Algin ve Turgut (2008) bütün dünyada birikmekte olan pamuk atığı (CW) ve kireçtaşı tozu atığı (LPW) ile düşük maliyetli ve hafif ağırlıklı kompozit üretim olanaklarını araştırmışladır. Kireçtaşı tozu atığı bölgedeki taş ocaklarından sağlanmıştır. Pamuk atığı ise GAP bölgesindeki pamuk ipliği üreticilerinden elde edilmiştir. Pamuk atığının kireçtaşı tozu atığı, çimento ve su ile homojen karışmadığı mikserin bir tarafında topaklandığı görülmüştür. Pamuk atığının homojen dağılımını sağlamak için yağdan temizleme prosesi uygulanmıştır. Laboratuarda hazırlanan

karışımlardaki çimento ve su miktarları, çeşitli pamuk atığı-kireçtaşı tozu atığı kombinasyonlarının etkisini belirlemek için sabit tutulmuştur. Pamuk atıkları daha yüksek hacim içeriğine sahip olduklarından, pamuk atığı ve kireçtaşı tozu atığı arasındaki ikame oranı hacimsel olarak ele alınmıştır. Örneğin % 20 pamuk atığı eklemek, LC-20 örneklerinde LPW hacminin % 20'sinin CW ile yer değiştirmesi anlamına gelmektedir. Hazırlanan taze karışımlar eğilme dayanımı deneyi için 105x225x75 mm boyutundaki kalıplara, basınç dayanımı deneyi için 105x90x75 mm boyutundaki kalıplara, birim ağırlık deneyi için de 105x90x75 mm boyutundaki kalıplara dökülerek 1 dakika boyunca 2 ile 40 ton arasında basınç uygulanarak sıkıştırılmıştır. Bütün tuğla örnekleri 24 saat oda sıcaklığında kür edildikten sonra 28 gün boyunca 22 ^{0}C'de kirece doyurulmuş su ile doldurulmuş kür tankında kürlenmiştir. Sonra tuğla örnekleri 105 °C'de havalandırılmış bir fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Tuğla örneklerinin su emmesi hem hacimce, hem de ağırlıkça hesaplanmıştır. Su emme ve yüzde CW değerinin orantılı olduğu görülmüştür. %40'lık CW içeriğinde ilk su emme değeri iki kat artmıştır. Bu CW içeriğinde kütlece su emme ise %27,2 olarak gerçekleşmiştir. Test sonuçları birim ağırlık değerlerinin hacimsel yüzde CW ikamesi ile ters orantılı olduğunu doğrulamıştır. Kontrol karışımının birim ağırlığında %29'luk bir düşüş %40 CW eklenmesiyle sağlanmıştır. Testler sırasındaki yapılan gözlemler CW-LPW matrisinde %10-40 CW eklenmesinin etkisinin aşırı yüklemede dahi ani gevrek kırılma sergilemediğini ve bu matrislerin yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduklarını göstermiştir. Bu sayede CW-LPW kompozisyonuyla geleneksel briketlerden yaklaşık %60 daha hafif olan bir kompozit üretilmiştir. 7 MPa basınç ve 2,19 MPa eğilme dayanımı değerlerine erişmiş %30 CW eklenmiş tuğlalar, betonarme yapısal uygulamalarında kullanılmak üzere bir yapı malzemesi için BS 6073'deki şartlara cevap vermektedir.

Yukarıda yapmış oldukları çalışmaya benzer şekilde Turgut ve Algin (2007) kireçtaşı tozu atıklarıyla (LPW) odun talaşı atıklarının (WSW) tuğla malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmalarında kullandıkları odun talaşını bölgedeki kereste imalathanelerinden, kireçtaşı tozu atığını da yine bölgedeki taş ocaklarından sağlamışlardır. Çeşitli WSW–LPW kombinasyonlarında karışımlar hazırlanmış, bu karışımlarda WSW hacimce LPW ile yer değiştirmiştir. WSW ile

LPW'nun etkisini belirlemek için su ve çimento miktarları sabit tutulmuştur. Hazırlanan taze karışımlar çelik kalıplara döküldükten sonra 4 saat boyunca 2 ile 17 MPa arasında basınç uygulanmıştır. Üretilen tuğla numuneleri 24 saat oda sıcaklığında kür edildikten sonra 28 gün boyunca 22 °C' de kirece doyurulmuş su ile doldurulmuş kür tankında bekletilmiştir. Daha sonra ise 105 °C' de havalandırılmış bir fırında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Hacimce ve ağırlıkça su emmeler hesaplanmış ve buna göre WSW ekleyerek su emmenin yükseltilebildiği görülmüştür. WSW içeriğinde %30'luk bir artış ile ilk su emme %50 oranında yükselmektedir. Bu WSW içeriğinde kütlece su emme %29 olarak gerçekleşmiştir. Sıradan bir briketin birim ağırlığının ortalama 2,3 gr/m^3 düşünüldüğünde %30 WSW içerikli tuğlalar %65 daha hafiftirler. Yapılan testler sonucunda 10-30 WSW eklenmiş tuğla örneklerinin aşırı yüklemelerde ani gevrek kırılma göstermeden önemli derecede enerji yuttuğu görülmüştür. %30 oranında WSW ekleyerek üretilen tuğla numuneleri 7.2 MPa basınç ve 3.08MPa eğilme dayanımına sahip olmuşlardır, böylece BS6073'deki şartları sağlamışlardır.

Binici ve diğ. (2005) Kırsal bölgelerde yaygın olarak kullanılan ancak depreme karşı yeterli basınç dayanımına sahip olamayan kerpiç üzerinde çalışmışlardır. Bazı stabilizatör ve lif atık malzemelerinin kombinasyonun kerpiç üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları numunelerde ana matris olarak kili; stabilizatör olarak çimento, bazaltik süngertaşı, kireç ve jips; lifli malzeme olarak saman, plastik lifler ve polistren kumaşı kullanmışlardır. Kütlece hazırlanan karışımlar 150x150x150 mm küp kalıplara dökülerek numuneler üretilmiştir. Numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra ıslak çuval torbalarla sarılmış ve bir hafta kür edilmiştir. Dökümden sonra 28, 72, ve 96 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numunelerin basınç dayanımları 3,7-7,1 MPa arasında gerçekleşmiştir. Geleneksel çamur tuğlalar %17,5 ağırlık kaybı ve %38,7 su emmeye sahipken üretilen numuneler %13,4-16,1 ağırlık kaybı ve %33,5-37,6 su emmeye sahiptirler.

Bideci ve Bideci (2008) diatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada diatomit hammaddesi ve tuğla kili kullanılmıştır. Tuğla kili doğal hava şartlarında kurutularak, No:10 elekten elenerek hazırlanmıştır. TS 705 ve TS EN 771-1 standartlarında verilen dolu tuğla sınıfı (1,8/100)

özelliklerindeki tuğlanın mekanik özellikleri göz önüne alınmıştır. Deney numuneleri kil+diatomit şeklinde olup, serbest hacim esasına göre belirlenmiştir. Diatomit hammaddesinden hacimsel olarak %10, %20, %30 oranlarında katkılı ve katkısız deney örneği, 800 °C, 900 °C ve 1000 °C pişirme sıcaklıklarında değerlendirilmek üzere, her bir sınıftan 45 adet olacak şekilde toplam 180 adet üretilmiştir. Farklı karışım numune serilerine ve pişirilme sıcaklıklarına göre basınç mukavemeti deneyi sonuçları değerlendirildiğinde, karışım serilerine ve pişirilme sıcaklıklarına göre farklılıklar gözlenmiştir. En uygun basınç dayanımı 900 °C'de pişirilen numune serisinden elde edilmiştir. Diatomit katkısı bakımından da %20 ve %30 diatomit katkılı deney numune serilerinin basınç dayanımlarının iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Diatomit katkı oranının artması, su emme oranlarında da artışa yol açmaktadır. Bu durumda diatomit katkısı su emme oranlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna ek olarak pişirme sıcaklığı artışı su emme oranlarını azaltmaktadır. Numunelere dona dayanıklılık deneyi uygulandığında, zararlı olabilecek çatlama, kopma, pullanma, dağılma vb. hasarlar görülmemiştir. Ancak numunelerden, şüphe edilenlere uygulanan basınç dayanım testinde 900 °C pişirilen %20 diatomit katkılı numune serisinin diğer numune serilerine oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Diatomit katkı oranının artması, su emme oranlarında da artışa yol açmaktadır. Bu durumda diatomit katkısı su emme oranlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Buna ek olarak pişirme sıcaklığı artışı su emme oranlarını azaltmaktadır. Birim hacim ağırlığı deneyi sonucunda, standart değer olan 1,6–1,8 gr/cm^3 aralığını %30 katkılı ve 800 °C' de pişirilenlerin haricindeki numunelerin sağlaması, belirli oranda katkı kullanımının malzemede olumlu sonuçlar ortaya çıkardığını göstermiştir.

Binici ve diğ. (2009) tekstil fabrikalarının atığı ve çevre kirliğine neden olan külün, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılmasını amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca yaptıkları bu çalışmada bazaltik pomzayı kullanarak ülkemizde bol miktarda rezervi bulunmasına rağmen pomzanın iç piyasadaki sınırlı tüketimini arttırmayı hedeflemişlerdir. Ürettikleri numunelerde ağırlıkça kil, bazaltik pomza ve tekstil fabrikası atık külünü kullanmışlardır. Numuneler hazırlanırken %5, %10, %20 tekstil fabrikası atık külü ve pomza yarı yarıya birlikte, gene aynı oranlarda sadece fabrikası atık külü ve pomza kille yer değiştirilerek kullanılmıştır. Karışımlar %16 ile

18 arasında su kullanılarak hazırlanmış ve bir gün bekletildikten sonra 25x25x115 mm boyutlarında ahşap kalıplara yerleştirilmiştir. Karışımlar elle yerleştirilip homojen bir şekilde sıkıştırılmaya çalışılmıştır. Numuneler etüvde 110 °C' de 5 saat kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda 8 saat süre ile pişirilmiştir. Yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda tüm katkılı tuğla numunelerin dayanımları, katkısız tuğlanın dayanımlarından yüksek çıkmıştır. %5 ve %10 tekstil fabrikaları atık külü ve bazaltik pomza katkılı tuğlaların dayanımlarında önemli ölçüde artış gözlenmiştir. %5 bazaltik pomza katkılı örneklerin basınç ve eğilme dayanımları en yüksek bulunmuştur. % 5 ile %10 arasında tekstil fabrikaları atık külü ve bazaltik pomza ile uygun nitelikte tuğla üretilebileceği anlaşılmaktadır. Pişme sıcaklığının arttırılmasıyla basınç ve eğilme dayanımının arttığı ve su emme oranının azaldığı görülmüştür. Su emme değerleri fazla olan örneklerin ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşüktür. Bu da örneklerdeki boşlukların daha fazla olduğunu yapısını açıklamaktadır. Bu sonuçları SEM resimleri de desteklemektedir.

Özbayoğlu ve diğ. (1987) kromit konsantresinin briketlenmesi üzerine pilot çapta bir araştırma yapmışlardır. Briketleme çalışmasında Etibank'a ait Üçköprü-Karagedik konsantratöründe sallantılı masalarda elde edilen kromit konsantresi kullanılmıştır. Pilot çapta briket üretimine geçilmeden önce laboratuarda çok ayrıntılı bir çalışma yürütülmüş, değişik bağlayıcılar denenmiş, en uygun bağlayıcının saptanmasından sonra bağlayıcı miktarı, nem oranı, briketleme basıncı gibi parametrelerin briket kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Laboratuar deneyleri sonunda en iyi briketlerin kromit konsantresine %3 Melas, %1,5 sönmüş kireç, %4 su ilavesiyle hazırlanan karışımın 38 mm çaplı silindirik bir kalıpta 500 kg yük altında sıkıştırılmasıyla elde edilebileceği ortaya konmuştur. Laboratuar ölçeğinde saptanmış optimum briketleme koşullarından sadece %4' lük su ilavesinin pilot çapta üretime uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle yapılan ön denemeler, %1 su, %1 sönmüş kireç ve bağlayıcı olarak da %3 melas ilavesiyle elde edilen briket hamurunun 200 kg/cm^2'lik bir basınçla sıkıştırılmasıyla uygun briketlerin üretilebileceğini ortaya koymuştur. Üretilen briketlerle bir dizi testler yapılmış ve briketlerin teknik özellikleri saptanmıştır. Ham briketlerin açık havada yeterli sertliklerine ulaşabilmesi için gerekli süre hava sıcaklığına ve havadaki nem oranına bağlı olarak 1-3 gün

arasında değişmiştir. Bu süreyi kısaltabilmek amacıyla briketlerin fırında kurutulması yoluna gidilmiştir. 50 °C' lik fırında 10 saat kurutulan briketlerin 100 kg'ın üzerinde bir kırılma dayanımına sahip oldukları gözlenmiştir. 10 saatin üzerindeki bir kurutma süresinin briketin sağlamlığında önemli bir değişiklik yapmadığı saptanmıştır. Briketlerin aşınma indeksleri incelemiştir. Buna göre gerek ham briketlerin gerekse kurutulmuş briketlerin aşınma indeksleri %1,70 - %3,20 arasında değişmiştir. Her iki briket de %5'in altında bir aşınma indeksi gösterdiğinden, aşınmaya karşı yeterli dirence sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Üretilen briketlerin suya karşı olan dirençlerini saptamak için briketler su dolu kaplarda bekletilmiş ve su içinde bekletme süresinin briketin kırılma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Briketler su içinde üç saat kalsalar bile 50 kg'ın üstünde bir kırılma dayanımı göstermektedirler. Önemli olan, ham briketlerin sertleşmesi için gerekli olan süre içersinde suyla temas etmemeleridir. Briketlerin tamamen kurumasından sonra sudan etkilenmesi daha az olmaktadır. Briketlenmiş kromit silikoferrokrom elektrik ark fırınında denenmiş ve kullanım sırasında fırında fiziksel ve kimyasal hiç bir aksaklıkla karşılaşılmamıştır.

Chidiac ve Federico (2007) cam atığının tuğla özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Böylece endüstrinin yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığının azaltılabileceği ve tuğlanın dayanımı ile durabilitesinin arttırılabileceği düşünülmüştür. Bunun için cam boyutlar ve ağırlıkça ne kadar katılması gerektiği araştırılmıştır. Ayrıca boşluk yapısına olan etkisini belirlemek için cıva girişli porozimetre kullanılmıştır.

Turgut (2008) yerel yönetimler için problem olmaya başlayan kireçtaşı ve cam atıklarının yapı tuğlası üretiminde değerlendirilmesi yönünde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada başlıca kireçtaşı tozu atığı ve cam tozu atığı ile az miktarda çimento karıştırılmış, nemlendirilmiş ve yüksek basınç altında kalıplarda sıkıştırılmıştır. Üretilen tuğlaların basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık, su emme, aşınma direnci, donma-çözünme direnci ve termal iletkenlik değerleri uluslararası standartları karşılamıştır. Ayrıca piyasada kullanılan briketlerle karşılaştırıldığında daha düz yüzeylere sahip oldukları tespit edilmiştir.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Kullanılan Malzemeler

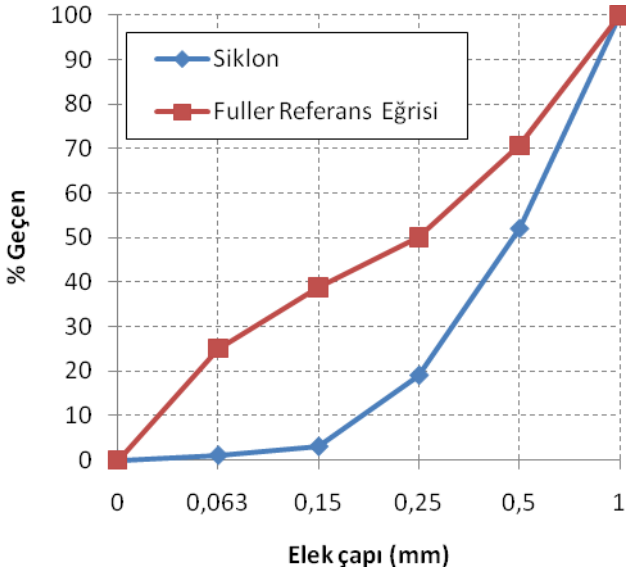
Yapılan deneysel çalışmada siklon külü, kum, çimento, kireç, uçucu kül ve perlit kullanılmıştır. Aşağıda bu malzemelerin özellikleri verilmiştir.

4.1.1. Siklon külü

Deneysel çalışmada kullanılan siklon külü 0,62 g/cm^3 birim ağırlık ve ortalama %40 poroz yapıya sahip bir malzeme olup, Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilmiştir. Tablo 4.1' de siklonun kimyasal özellikleri ve Şekil 4.1'de de siklonun granülometri eğrisi verilmektedir. Eğri Fuller referans eğrisi ile karşılaştırıldığında siklon taneciklerinin nispeten iri yapılı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1: Siklon külünün kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO_2	57,84
Al_2O_3	23,91
Fe_2O_3	6,42
K_2O	4,43
MgO	2,61
Na_2O	1,16
TiO_2	1,03
CaO	0,95
P_2O_5	0,12
SO_3	0,09
SbO2	0,01
As_2O_3	0,00
PbO	0,00



Şekil 4.1: Siklonun granülometri eğrisi

4.1.2. Çimento

Çalışmada Nuh Çimento Sanayi AŞ'den TS EN 197-1'e uygun olarak üretilmiş CEM I 42,5R çimentosu alınarak kullanılmıştır. Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.2: Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO_2	20,50
Al_2O_3	4,65
Fe_2O_3	3,40
CaO	64,73
MgO	1,02
SO_3	2,71
Toplam Alkali	0,59
Klorür	0,0084
Çözünmeyen Kalıntı	0,60
Kızdırma Kaybı	2,15
Serbest Kireç	1,03

Tablo 4.3: Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değer	
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,13	
Donma Süresi	Başlangıç	Son
(Vicat, dakika)	153	188
Özgül Yüzey (cm^2/gr)	3596	
90 μ Elek Üstü (%)	0,2	
45 μ Elek Üstü (%)	12,8	
Hacim Sabitliği (mm)	2	
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	30,2	
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,1	
28 Günlük Basınç Dayanımı(MPa)	62,2	

4.1.3. Kireç

Bu çalışmada kullanılan kireç Nuh Yapı Ürünleri ve Makine Sanayi AŞ'den temin edilmiştir. TS EN 459-1'e uygun olarak üretilen torbalı kireç CL 80-S sınıfına girmekte olup 2,4 gr/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir. Tablo 4.4'te kirecin kimyasal özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.4: Kirecin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık	TS EN 459-1
$Ca(OH)_2$	82,3	-
CaO	88,59	-
MgO	1,2	Min. 5
CaO+MgO	89,79	Min. 80
Kızdırma Kaybı	6,1	Mak. 7
SO_3	1,3	Mak. 2
Serbest Su	0,6	Mak. 2

4.1.4. Uçucu kül

Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu kül Çayırhan Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizi verilmektedir.

Tablo 4.5: Uçucu külün kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO_2	50,2
Al_2O_3	12,7
Fe_2O_3	9
CaO	12,53
MgO	4,33
Na_2O	2,75
K_2O	2,5
SO_3	0,39
Kızdırma Kaybı	0,54

Tablo 4.6: Uçucu külün fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Değer
Özgül Ağırlık ($gr/cm^{3)}$	2,04
Özgül Yüzey (cm^2/gr)	2120

4.1.5. Perlit

Perlit, bünyesinde %2-6 oranında su içeren camsı bir silikat türüdür ve 700 °C- 1200 °C arasındaki sıcaklıklarda kendi hacminin 4 ile 20 katı arasında genleşir (Katrancı ve Türkmen, 2005).

Gerçekleştirilen bu çalışmada, TAŞPER PERLİT SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.'nin Ege Bölgesi'nden temin ettiği genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de kullanılan genleştirilmiş perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.7: Genleştirilmiş perlitin kimyasal analizi

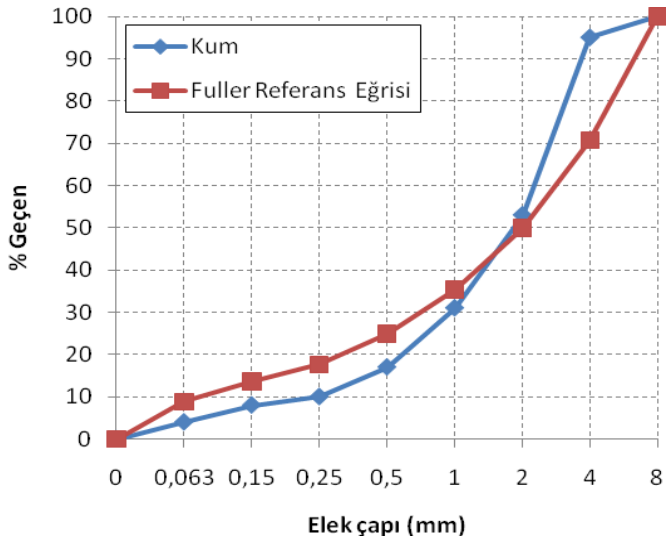
Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO_2	60-80
Al_2O_3	12-16
Na_2O	3-10
K_2O	2-5
CaO	0-2
MgO	0-1
Fe_2O_3	0-1

Tablo 4.8: Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Özellikler	Genleştirilmiş Perlit
Tane Büyüklüğü	0-3 mm
Gevşek Birim Ağırlık (kg/m$^{3)}$	50-80
Doğal Nem	Mask. % 0,5
pH	6,5-8
Yumuşama Sıcaklığı	890-1100 °C
Erime Sıcaklığı	1280-1380 °C

4.1.6. Kum

Deneysel çalışmada kullanılan kırma kum Kocaeli-Gebze menşeili olup Kavanlar Hazır Beton firmasından temin edilmiştir. Kırma kum 2,62 gr/cm^3 özgül ağırlığında olup %1,8 su emme değerine sahiptir. Şekil 4.2'de kırma kumun granülometri eğrisi görülmektedir. Kum malzemesinin eğrisi de Fuller referans eğrisi ile karşılaştırılmış ve buna göre eğriyle yapısal olarak uygunluk gösterdiği görülmüştür (Fuller ve Thompson, 1907).



Şekil 4.2 : Kırma kumun granülometri eğrisi

4.2. Duvar Malzemesi Üretimi

Alternatif duvar malzemesi üretimi üç aşamada olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada çimento, kireç, uçucu külün en uygun bağlayıcı oranları ve kür yöntemi belirlenmiştir. İkinci aşamada siklon-perlit oranının ne olması gerektiği

araştırılmıştır. Bu araştırmalarda 40x40x160 mm boyutlarında harç numuneleri kullanılmıştır. Son aşamada ise 105x225x75 mm boyutlarına sahip duvar elemanlarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı oranlarının belirlenmesi için üretilen harç numuneleri 20±2 ˚C'de suda 28 gün, TS 3323'e göre 35±3 ˚C'de suda 24 saat ve 35±3 ˚C'de suda 24 saat bekledikten sonra ayrıca 24 saat daha 110 ˚C'de tutularak üç farklı şekilde kür edilmişlerdir. Bu şekilde kür metotları da kıyaslanarak, en yeterli, ekonomik ve hızlı kür metodu ile yola devam edilmesi amaçlanmıştır. Bu metotların hepsinin yeterli olduğu anlaşıldıktan sonra, diğerlerine göre dayanımlarda çok farklılık arz etmeyen, daha ekonomik ve hızlı bir yöntem olan 35±3 ˚C'de suda 24 saat hızlı kür etme metodu deneysel çalışmanın ikinci ve üçüncü aşamasında tercih edilmiştir.

En uygun bağlayıcı oranının belirlenmesinde çimento, kireç, uçucu kül, perlit ve kırma kum içeren karışımlar hazırlanmıştır. Toplam 1 m^3' te 300 kg bağlayıcı içeriğinde en uygun çimento-kireç-uçucu kül kombinasyonu araştırılırken perlit ve kum miktarı hacimce eşit tutulmuştur. Tablo 4.9'da üretilen numune serisi ve içerikleri verilmektedir.

Tablo 4.9: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numune serileri ve içerikleri

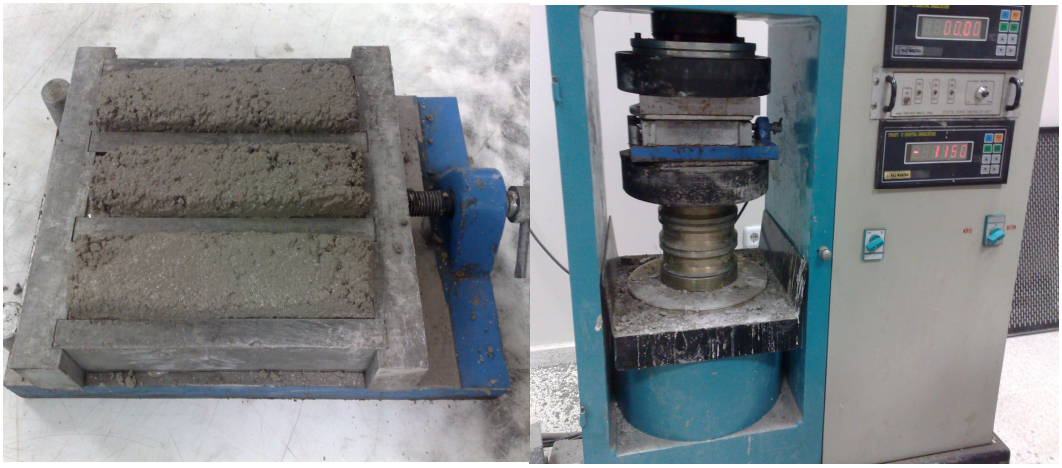
Numune No	Çimento	Kireç	Puzolan	Çimento (kg)	Kireç (kg)	Puzolan (kg)
C	100	-	-	300	-	-
CL50	50	50	-	150	150	-
L100	-	100	-	-	300	-
CLF 40/10	50	40	10	150	120	30
CLF 30/20	50	30	20	150	90	60
CLF 20/30	50	20	30	150	60	90
CLF 10/40	50	10	40	150	30	120
CLF 0/50	50	-	50	150	-	150
CLF 50/10	40	50	10	120	150	30
CLF 50/20	30	50	20	90	150	60
CLF 50/30	20	50	30	60	150	90
CLF 50/40	10	50	40	30	150	120
LF 50/50	-	50	50	-	150	150

Karışımlar harç mikseri içinde karıştırıldı ve Şekil 4.3'de gösterildiği gibi akma masasında 110±5 mm yayılma sağlayan su içeriğinde hazırlanmıştır (Değirmenci, 2008a; 2008b; 2005).



Şekil 4.3: Akma masasında su içeriğinin belirlenmesi

Taze karışımın hazırlanmasından sonra Şekil 4.4'de gösterildiği gibi kalıplardan yaklaşık 1 cm taşacak şekilde yerleştirilip beton presi yardımı ile bir dakika boyunca 17 MPa/sn basınca maruz bırakılmıştır (Turgut ve Yahlizade, 2009).



Şekil 4.4: Harç numunelerinin kalıplara yerleştirilmesi ve pres altında sıkıştırılması

24 saat sonra kalıplar açılarak numunelere sırasıyla, 28 gün 20±2 ˚C suda, TS 3323'e göre 24 saat 35±3 ˚C'lik suda ve 24 saat 35±3 ˚C'lik suda bekledikten sonra ayrıca 24 saat daha 110 ˚C'de tutularak üç farklı şekilde kür uygulanmıştır. Bu şekilde üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyinde kırılan parçalar üzerinde 40x40 mm boyutlarındaki plakalar yardımıyla basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu deneyler sonucunda uygun görülen üç bağlayıcı oranını seçilmiştir.

Perlitin yanında kum kullanarak devam etmek yerine malzemeyi hafifleştirme ve yalıtım yönüyle daha avantajlı olabilecek siklon külü ile devam edilmiş ve

çalışmanın ikinci aşaması olan kullanılacak perlit-siklon külü oranlarının hacimce araştırılmasına geçilmiştir. Bu araştırmada üretilen numune serileri ve içerikleri Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de verilmektedir.

Tablo 4.10: %100 çimento içeriğine sahip numune içerikleri

Numune No	Perlit	Siklon	Çimento
C-P 100	100	0	100
C-PC 90/10	90	10	100
C-PC 80/20	80	20	100
C-PC 70/30	70	30	100
C-PC 60/40	60	40	100
C-PC 50/50	50	50	100
C-PC 40/60	40	60	100
C-PC 30/70	30	70	100
C-PC 20/80	20	80	100
C-PC 10/90	10	90	100
C-C 100	0	100	100

Tablo 4.11: %50 çimento %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğine sahip numune içerikleri

Numune No	Perlit	Siklon	Çimento	Kireç	Uçucu Kül
CLF 20/30-P 100	100	0	50	20	30
CLF 20/30-PC 90/10	90	10	50	20	30
CLF 20/30-PC 80/20	80	20	50	20	30
CLF 20/30-PC 70/30	70	30	50	20	30
CLF 20/30-PC 60/40	60	40	50	20	30
CLF 20/30-PC 50/50	50	50	50	20	30
CLF 20/30-PC 40/60	40	60	50	20	30
CLF 20/30-PC 30/70	30	70	50	20	30
CLF 20/30-PC 20/80	20	80	50	20	30
CLF 20/30-PC 10/90	10	90	50	20	30
CLF 20/30-C 100	0	100	50	20	30

Tablo 4.12: %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip numune içerikleri

Numune No	Perlit	Siklon	Çimento	Kireç	Uçucu Kül
CLF 10/40-P 100	100	0	50	10	40
CLF 10/40-PC 90/10	90	10	50	10	40
CLF 10/40-PC 80/20	80	20	50	10	40
CLF 10/40-PC 70/30	70	30	50	10	40
CLF 10/40-PC 60/40	60	40	50	10	40
CLF 10/40-PC 50/50	50	50	50	10	40
CLF 10/40-PC 40/60	40	60	50	10	40
CLF 10/40-PC 30/70	30	70	50	10	40
CLF 10/40-PC 20/80	20	80	50	10	40
CLF 10/40-PC 10/90	10	90	50	10	40
CLF 10/40-C 100	0	100	50	10	40

Bu aşamada bağlayıcı araştırmasında olduğu gibi karışımlar akma masasında 110±5 mm yayılma sağlayan su içeriğinde hazırlandıktan sonra kalıplardan yaklaşık 1 cm taşacak şekilde yerleştirilip bir dakika boyunca 17 MPa/sn basınca maruz bırakılmıştır. Ancak hacimce yüksek perlit içeriğinde perlit taneleri basınç altında ezildikleri ya da boşlukları çimento hamuru ile dolduğu için hesaplanandan daha fazla malzeme kullanılmak zorunda kalınmıştır. Basınç işleminden sonra da üretilen numuneler hızlı kür edilerek eğilme, basınç, birim ağırlık ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece alternatif duvar malzemesi üretiminde kullanılacak üç adet siklon/perlit oranı belirlenmiştir.

Birinci ve ikinci aşamalarda belirlenen veriler doğrultusunda, Tablo 4.13'de gösterilen içeriklere sahip üçüncü ve son aşama olan duvar inşasında kullanılacak numune karışımlarının üretime geçilerek, Şekil 4.5'de gösterildiği gibi beton mikserinde hazırlanmıştır.

Tablo 4.13: Duvar elemanı olarak üretilen numune içerikleri

Numune No	Perlit	Siklon	Çimento	Kireç	Uçucu Kül
C-PC 50/50	50	50	100	-	-
C-PC 40/60	40	60	100	-	-
C-PC 30/70	30	70	100	-	-
CLF 20/30-PC 50/50	50	50	50	20	30
CLF 20/30-PC 40/60	40	60	50	20	30
CLF 20/30-PC 30/70	30	70	50	20	30
CLF 10/40-PC 50/50	50	50	50	10	40
CLF 10/40-PC 40/60	40	60	50	10	40
CLF 10/40-PC 30/70	30	70	50	10	40



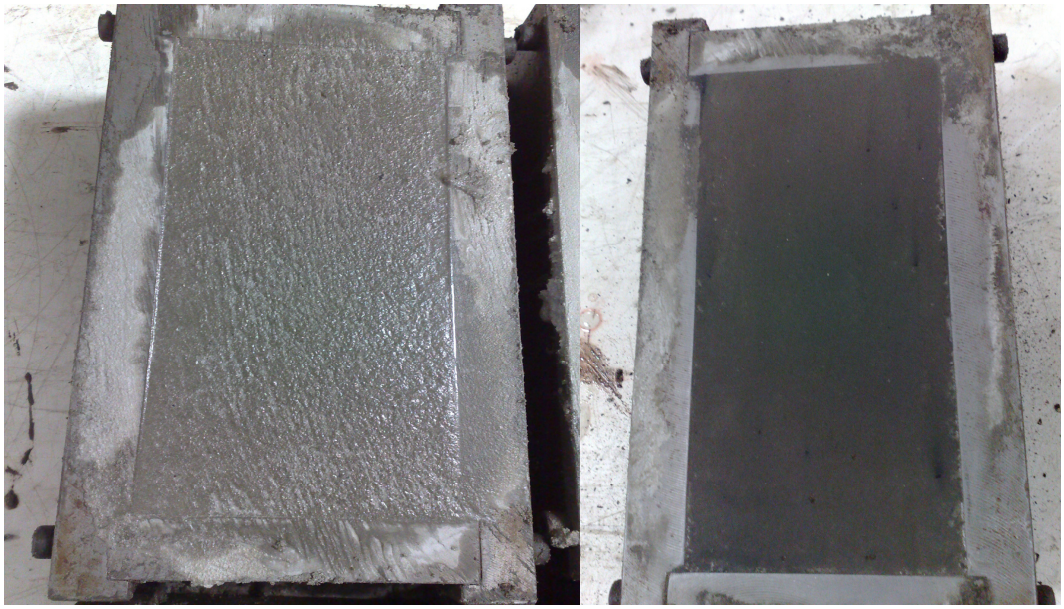
Şekil 4.5: Beton mikserinde hazırlanan taze karışım

Hazırlanan bu karışımlar Şekil 4.6 gösterildiği gibi 105x225x75 mm boyutlarında kalıplara yerleştirilerek ve beton presi altında bir dakika boyunca 17 MPa/sn basınca maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.6: Taze karışımın kalıba yerleştirilmesi ve pres arlında sıkıştırılması

Ertesi gün 24 saat 35±3 ˚C'de bekleyeceği hızlı kür kabinine konmadan önce numunelerin hafif pürüzlü yüzeyleri Şekil 4.7 gibi zımpara makinesi ile zımparalanarak pürüzler giderilmiştir. Bu şekilde eğilme ve basınç deneyine tabi tutulacak numune yüzeyleri deneye uygun hale getirilmiştir.



Şekil 4.7: Zımpara yapılmadan önceki ve yapıldıktan sonraki numune yüzeyleri

Üretilen dokuz seri duvar elemanında harç numuneleri üzerinde uygulanan işlemlerin aynısı gerçekleştirilmiş ve hafif duvar malzemesi elde edilmiştir.

4.3. Üretilen Duvar Malzemelerinde Gerçekleştirilen Deneyler ve Deney Sonuçlarının Yorumlanması

Duvar malzemesi üretiminde yapılan deneyler 40x40x160 mm boyutundaki harç numuneleri ve 105x225x75 mm boyutundaki duvar elemanları üzerinde gerçekleştirilen deneyler olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

4.3.1. Harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler

4.3.1.1. Eğilme dayanımı

Harç numunelerinin eğilme dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki numuneler üzerinde TS EN 1015-11 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasında tek noktadan 0,02 MPa/sn yükleme hızında gerçekleştirildi. Elde edilen kırılma yükü aşağıdaki formülde yerine konarak eğilme dayanımı üç numunenin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

$$\sigma_e = 1{,}5x\frac{FxL}{bxd^2} \tag{4.1}$$

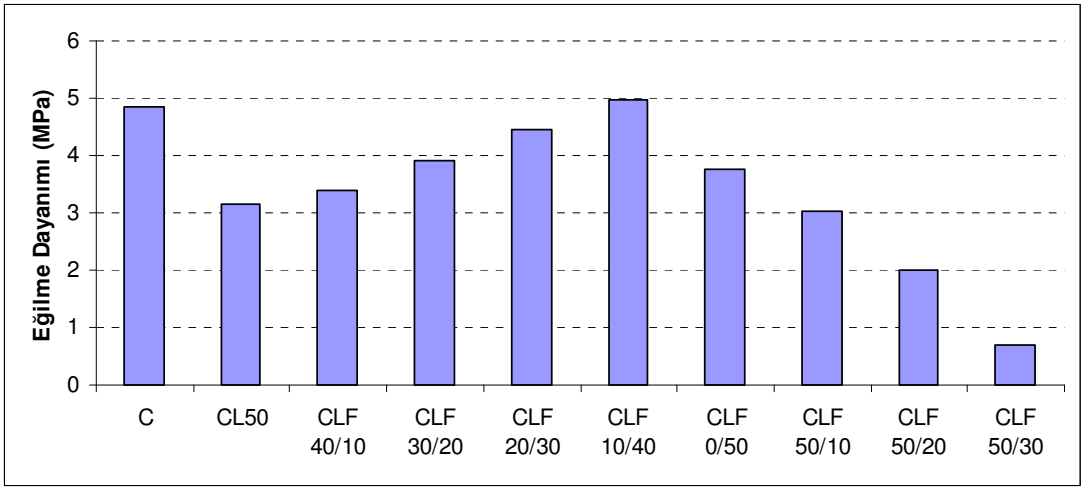
σ_e= Eğilme Dayanımı (N/mm^2, MPa)
F=Kırılma anındaki yük (N)
L=Mesnet açıklığı (mm)
b= Harç numunesinin genişliği (mm)
d=Harç numunesinin yüksekliği (mm)

Tablo 4.14'de bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 28 günlük kürden sonraki eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.8'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.14: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları (MPa)
C	4,86
CL50	3,16
L100	-*
CLF 40/10	3,4
CLF 30/20	3,92
CLF 20/30	4,45
CLF 10/40	4,98
CLF 0/50	3,75
CLF 50/10	3,04
CLF 50/20	1,99
CLF 50/30	0,7
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



Şekil 4.8: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği

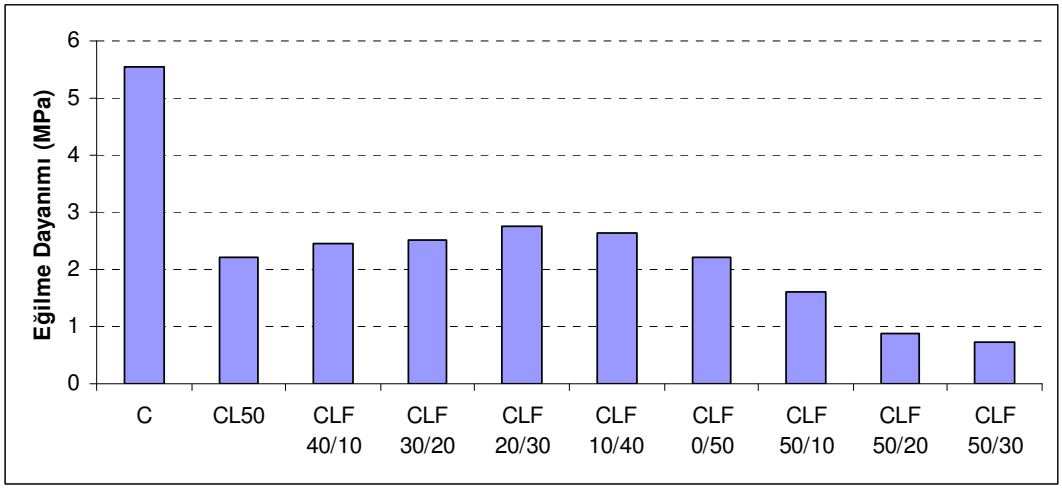
Şekil 4.8'de sadece çimento içeriğine sahip numune (C) ile CLF20/30 ve CLF 10/40 numunelerinin eğilme mukavemetlerinin diğerlerine nazaran daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. Diğer numunelerin mukavemet değerleri kireç artışı ile düşerken kirecin azalıp uçucu kül içeriğinin artışı ile tekrar artmaktadır.

Tablo 4.15'de bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 24 saat 35±3 ˚C' deki hızlı kürden sonraki eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.9'daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.15: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları (MPa)
C	5,56
CL50	2,22
L100	-*
CLF 40/10	2,46
CLF 30/20	2,53
CLF 20/30	2,77
CLF 10/40	2,65
CLF 0/50	2,22
CLF 50/10	1,6
CLF 50/20	0,89
CLF 50/30	0,74
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır..



Şekil 4.9: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği

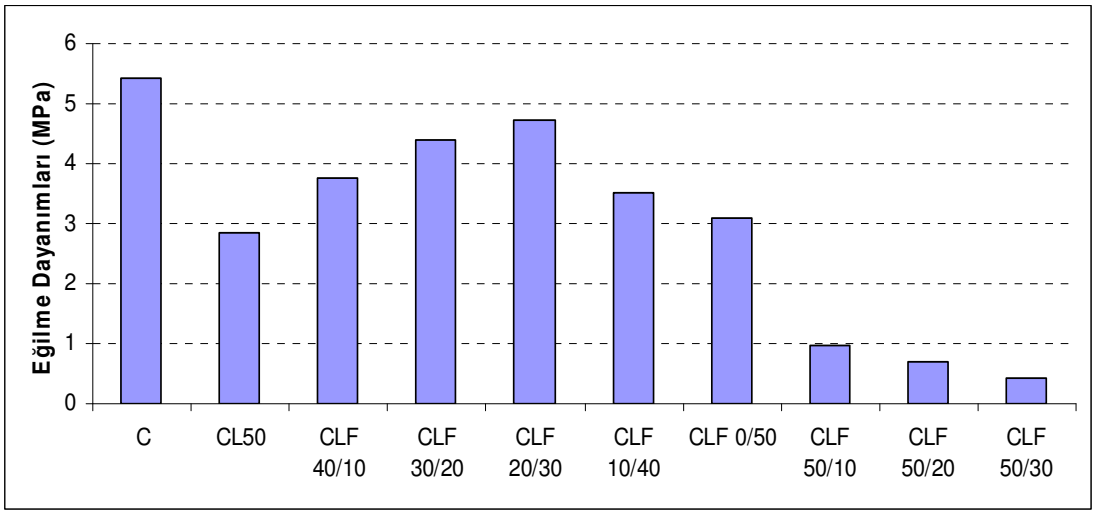
Şekil 4.9'daki hızlı kür edilmiş numunelerin grafikleri 28 gün kür edilenlerle benzerlik göstermiştir. Ancak uçucu kül ve kireç kullanılan numunelerde reaksiyonlar ve dayanım kazanma mekanizması yavaş cereyan ettiği için mukavemetler sadece çimento kullanılmış olan numune tipine göre çok daha düşük çıkmıştır. Yine sadece CLF 20/30 ve CLF 10/40 ön plana çıkmaktadır.

Tablo 4.16'da bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 24 saat 35±3 ˚C'deki hızlı kürden sonra etüvde 110 ˚C'de bekletildikten sonraki eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.10' daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.16: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş numunelerin eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları(MPa)
C	5,41
CL50	2,85
L100	-*
CLF 40/10	3,75
CLF 30/20	4,4
CLF 20/30	4,73
CLF 10/40	3,51
CLF 0/50	3,09
CLF 50/10	0,98
CLF 50/20	0,7
CLF 50/30	0,42
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



Şekil 4.10: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin eğilme dayanımlarının grafiği

Şekil 4.10'da kullanılan hızlı kür yöntemi daha etkin olduğu için diğer numuneleri 28 günlüklerde olduğu gibi sadece çimentolu numuneye yaklaştırmaktadır. Bunun yanında eğilim de diğer yöntemlere benzemektedir.

Gerçekleştirilen üç kür yönteminde de %100 kireç; %10 çimento, %50 kireç, %40 uçucu kül ve % 50 kireç % 50 uçucu kül içeriğine sahip numuneler su içinde dağıldığı için bu numunelerden değer alınamamıştır. Bu içeriklere sahip

numunelerden değer elde edebilmek için buhar kürü yönteminin kullanılması daha sağlıklı olabilir.

Her üç kür yöntemi için de %50 çimento içeriğinin sabit tutulup, kireç ve uçucu kül içeriklerinin değiştirildiği numunelerin eğilme dayanımları genel olarak uçucu kül oranındaki artışla birlikte artmaktadır. %50 kireç içeriğinin sabit tutulup çimento ve uçucu kül içeriklerinin değiştirildiği numunelerde ise uçucu kül oranının artışı eğilme dayanımını düşürmektedir.

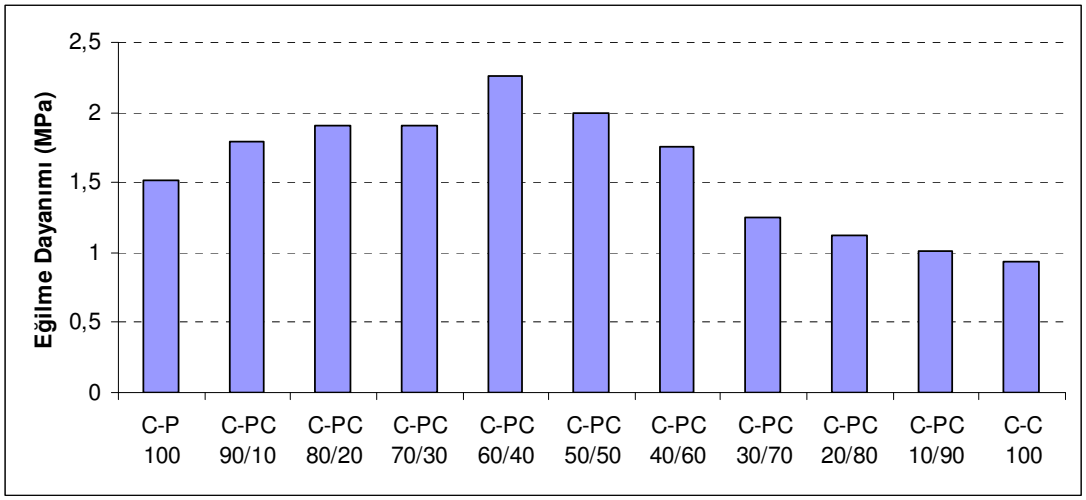
Literatürde duvar malzemeleri üzerine yapılmış bir çok çalışmada kullanılan bağlayıcıların içeriklerinde kireç bulunmaktadır (Algin ve Turgut, 2008; Binici ve diğ., 2005; Çiçek ve Tnarıverdi, 2007; Değirmenci, 2008a; 2008b; 2005; Singh ve Kumar, 1996; Kumar, 2000; Singh ve Garg, 1995; Turgut ve Algın, 2007; Turgut, 2008). Kirecin kimyasal yapısında yüksek miktardaki CaO, bağlayıcı içeriğindeki SiO_2 ile reaksiyona girerek dayanımların artmasını sağlamaktadır. Her üç grafik de incelendiğinde 28 gün sonunda çimento-kireç-uçucu kül numuneleri arasında en yüksek dayanımı %10 kireç, %40 uçucu kül ve %50 çimento içeriğine sahip numuneler vermiştir. Diğer iki kür yönteminde ise %50 çimento %20 kireç ve %30 uçucu kül içeren numunelerin eğilme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Çünkü 28 gün sonunda puzolanik aktivite daha yüksek olmakta ve %10 kireç, %40 uçucu kül ve %50 çimento içeriğine sahip numune daha iyi performans göstermektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi bağlayıcı araştırmasında en başarılı görülen üç numune (%10 çimento içeriğine sahip, %50 çimento, %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğine sahip, %50 çimento, %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip) ile bir sonra çalışma aşamasına geçilmiş ve siklon/perlit oranları harç numuneleri üzerinden araştırılmıştır. Kür yöntemi olarak sadece 35°C'lik hızlı kür yöntemi ile hızlı ve ekonomik olduğu için araştırmalara devam edilmiştir.

Tablo 4.17'de %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.11'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.17: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları(Mpa)
C-P 100	1,52
C-PC 90/10	1,79
C-PC 80/20	1,91
C-PC 70/30	1,91
C-PC 60/40	2,26
C-PC 50/50	1,99
C-PC 40/60	1,75
C-PC 30/70	1,25
C-PC 20/80	1,13
C-PC 10/90	1,01
C-C 100	0,93



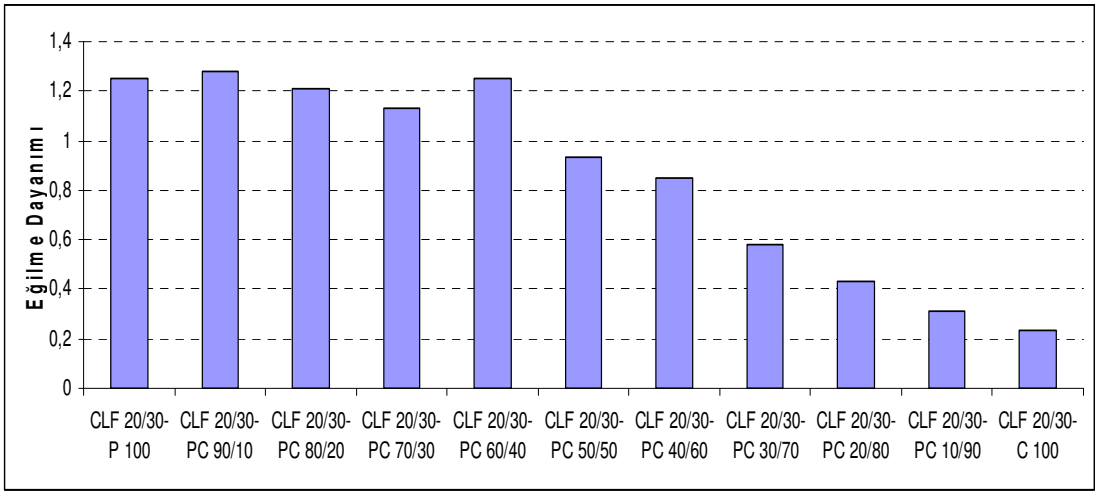
Şekil 4.11: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği

Şekil 4.11'de 60/40 oranındaki perlit siklon içeriğinin eğilme dayanımını en iyi noktaya taşıdığı görülmektedir. Sanılanın aksine %100 perlit içeriği perlitin kırılgan olmasından dolayı başarısız olmuştur.

Tablo 4.18'de %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.12'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.18: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları(MPa)
CLF 20/30-P 100	1,25
CLF 20/30-PC 90/10	1,28
CLF 20/30-PC 80/20	1,21
CLF 20/30-PC 70/30	1,13
CLF 20/30-PC 60/40	1,25
CLF 20/30-PC 50/50	0,93
CLF 20/30-PC 40/60	0,85
CLF 20/30-PC 30/70	0,58
CLF 20/30-PC 20/80	0,43
CLF 20/30-PC 10/90	0,31
CLF 20/30-C 100	0,23



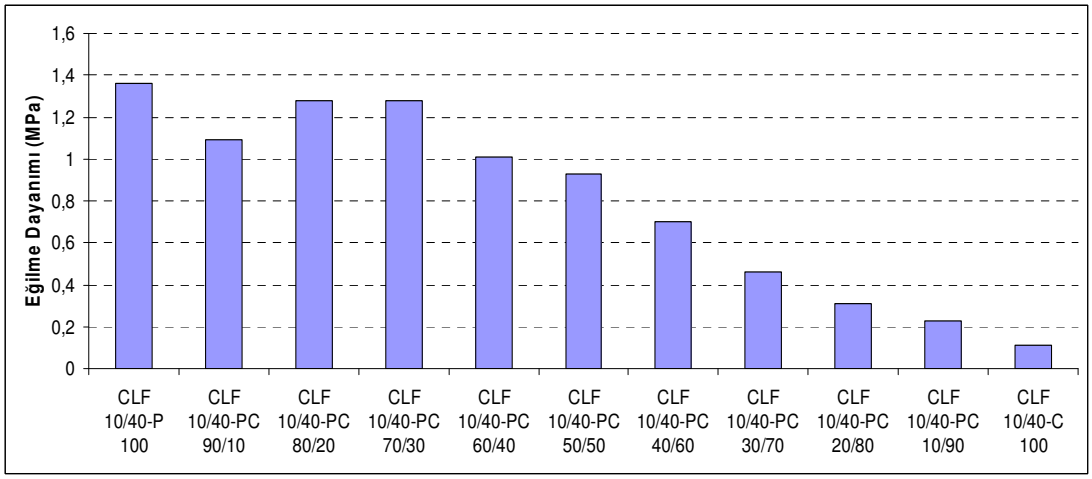
Şekil 4.12: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği

Şekil 4.12'de %100 perlitten %60 perlitin başarılı olduğu ve bu kısımdaki eğilimin Şekil 4.11'den çok farklı olduğu anlaşılmıştır. Bu durum kireç ve uçucu kül kullanımının harcın kıvamına olumlu etki ederek perlitin daha olumlu etki yapmasını sağladığını düşündürmektedir.

Tablo 4.19'da %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 13'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.19: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımları(MPa)
CLF 10/40-P 100	1,36
CLF 10/40-PC 90/10	1,09
CLF 10/40-PC 80/20	1,28
CLF 10/40-PC 70/30	1,28
CLF 10/40-PC 60/40	1,01
CLF 10/40-PC 50/50	0,93
CLF 10/40-PC 40/60	0,7
CLF 10/40-PC 30/70	0,46
CLF 10/40-PC 20/80	0,31
CLF 10/40-PC 10/90	0,23
CLF 10/40-C 100	0,11



Şekil 4.13: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının eğilme dayanımlarının grafiği

Şekil 4.13'te de 4.12'ye benzer bir durum söz konusu olup, 70/30 perlit/siklon oranına kadar başarılı değerler göze çarpmaktadır.

Seçilen bağlayıcı içeriklerinde üretilen siklon-perlit numuneleri yüksek perlit içeriklerinde eğilme dayanımındaki değişim dengeli olmamaktadır. Bunun nedeni ise pres altında sıkıştırılma sırasında perlitin ezilmesi veya boşluklarının çimento hamuru ile dolmasıdır. Yaklaşık %50 siklon ve %50 perlit içeriğinden sonra eğilme dayanımı siklon miktarındaki artış ile birlikte azalmaktadır.

%100 çimento içeriğindeki numuneleri en yüksek eğilme dayanımlarına sahiptirler. %50 çimento %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğindeki numuneler ve %50 çimento

%10 kireç ve %40 uçucu kül içeren numunelere göre daha iyi performans göstermişlerdir.

4.3.1.2. Basınç dayanımı

Harç numunelerinin basınç dayanımları kırılan 40x40x160 mm boyutlarındaki eğilme numunelerinden elde edilen parçalar üzerinden TS EN 1015-11 standardına uygun olarak test edilmiştir. Eğilmede kırılan parçalar 40x40 mm boyutlarında iki plaka yardımı ile 0,1 MPa/sn yükleme hızı ile basınç altında kırıldıkları yükler tespit edilmiştir. Elde edilen bu yükler aşağıdaki formülde yerine konarak altı numunenin ortalaması alınarak basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.2}$$

$\sigma =$ Basınç dayanımı (N/mm^2, MPa)

$F =$ Kırılma anındaki yük (N)

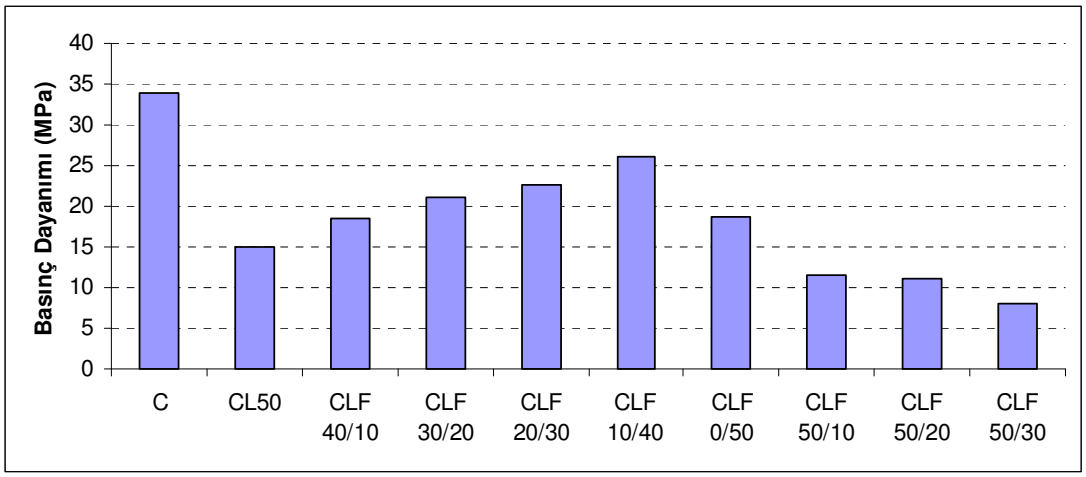
$A =$ Basınç uygulanan yüzey alanı (mm^2)

Tablo 4.20'de bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 28 günlük kürden sonraki basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.14'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.20: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)
C	33,92
CL50	14,9
L100	-*
CLF 40/10	18,41
CLF 30/20	21,04
CLF 20/30	22,65
CLF 10/40	26,18
CLF 0/50	18,78
CLF 50/10	11,53
CLF 50/20	11,15
CLF 50/30	8
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



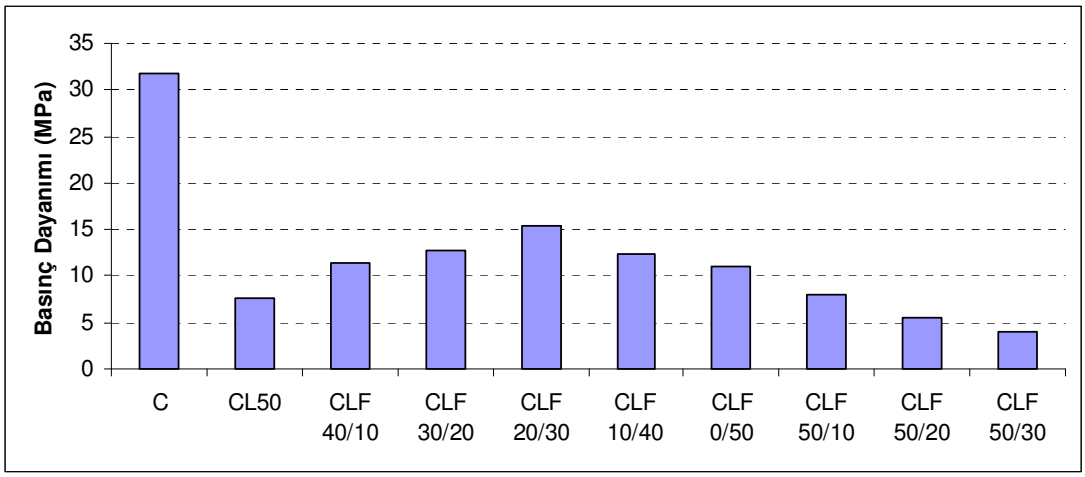
Şekil 4.14: 28 gün kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği

Tablo 4.21'de bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 24 saat 35±3 ˚C'deki hızlı kürden sonraki basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.15 'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.21: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)
C	31,77
CL50	7,54
L100	-*
CLF 40/10	11,45
CLF 30/20	12,8
CLF 20/30	15,32
CLF 10/40	12,34
CLF 0/50	11,04
CLF 50/10	7,98
CLF 50/20	5,52
CLF 50/30	3,91
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



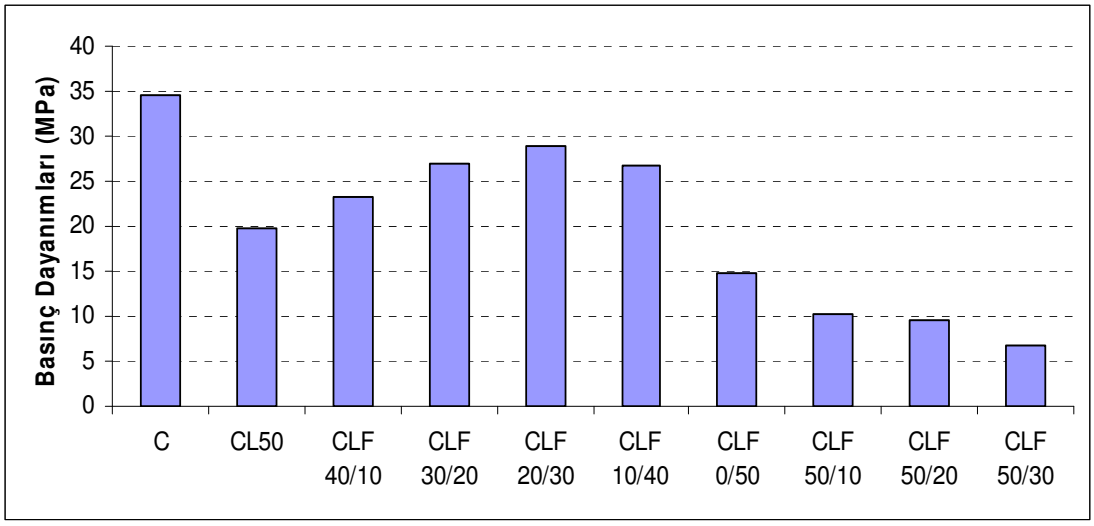
Şekil 4.15: Hızlı kür edilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği

Tablo 4.22'de bağlayıcı oranı araştırması için üretilen numunelerin 24 saat 35±3 ˚C'deki hızlı kürden sonra etüvde 110 ˚C'de bekletildikten sonraki basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.16'daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.22: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)
C	34,6
CL50	19,88
L100	-*
CLF 40/10	23,26
CLF 30/20	26,96
CLF 20/30	28,91
CLF 10/40	26,82
CLF 0/50	14,78
CLF 50/10	10,11
CLF 50/20	9,62
CLF 50/30	6,81
CLF 50/40	-*
LF 50/50	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



Şekil 4.16: Hızlı kür edildikten sonra etüvde 110 ˚C'de bekletilmiş harç numunelerinin basınç dayanımlarının grafiği

Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'ya bakılacak olursa aslında eğilme dayanımı grafikleri ile ne kadar paralel olduğu görülmektedir ve dayanım yönleriyle yine ön plana çıkanlar aynı tip numuneler olmaktadır.

Gerçekleştirilen üç kür yönteminde %100 kireç , %10 çimento %50 kireç %40 uçucu kül ve % 50 kireç % 50 uçucu kül içeriğine sahip numuneler su içinde dağıldığı için bu numunelerden değer alınamamıştır. Bu içeriklere sahip numunelerden değer elde edebilmek için farklı bir kür yönteminin kullanılması gerekmektedir.

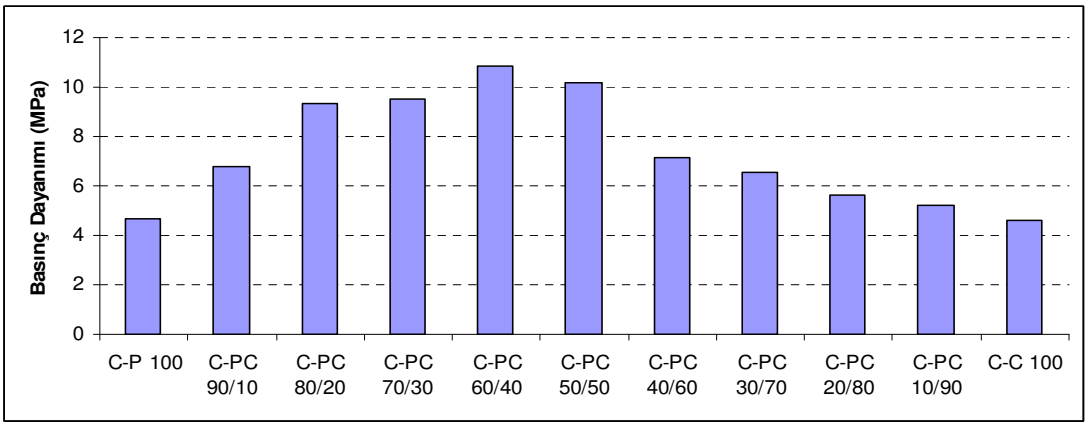
Her üç kür yöntemi için de %50 çimento içeriğinin sabit tutulup kireç ve uçucu kül içeriklerinin değiştirildiği numunelerin basınç dayanımları genel olarak uçucu kül oranındaki artışla birlikte artmaktadır. %50 kireç içeriğinin sabit tutulup çimento ve uçucu kül içeriklerinin değiştirildiği numunelerde ise uçucu kül oranının artışı basınç dayanımını düşürmektedir.

İkinci aşamada yine en başarılı görülen görülen (%10 çimento içeriğine sahip, %50 çimento, %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğine sahip, %50 çimento, %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip) ve siklon/perlit oranları değiştirilen üç numune 35°C'lik hızlı kür yöntemi ile kürlenerek basınç dayanımlarına bakılmıştır.

Tablo 4.23'de %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.17'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.23: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımları(Mpa)
C-P 100	4,65
C-PC 90/10	6,78
C-PC 80/20	9,35
C-PC 70/30	9,54
C-PC 60/40	10,84
C-PC 50/50	10,21
C-PC 40/60	7,15
C-PC 30/70	6,53
C-PC 20/80	5,66
C-PC 10/90	5,22
C-C 100	4,62



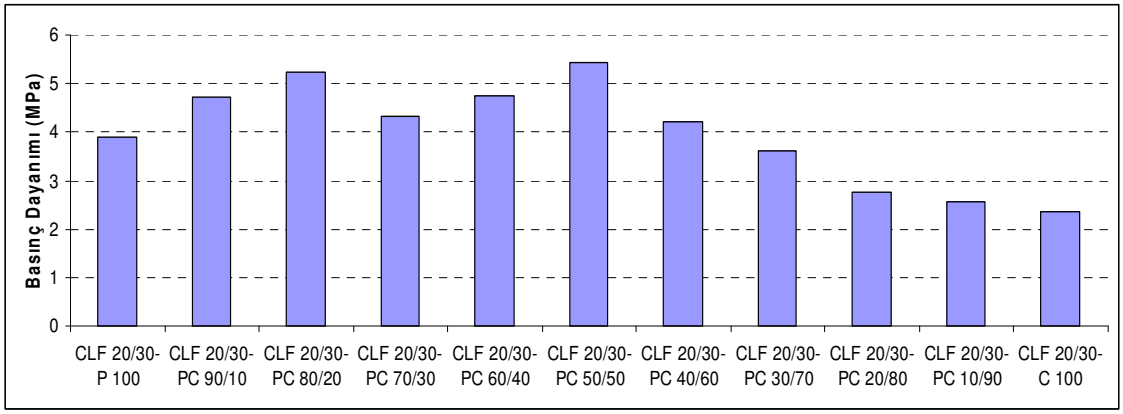
Şekil 4.17: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği

Şekil 4.17'deki basınç grafiğinin aynı numunelerin eğilme grafiğine büyük benzerlik gösterdiği dikkat çekmektedir. Oranlar hemen hemen tıpatıp aynı kalmıştır.

Tablo 4.24'de %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.18'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.24: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımları(Mpa)
CLF 20/30-P 100	3,9
CLF 20/30-PC 90/10	4,71
CLF 20/30-PC 80/20	5,23
CLF 20/30-PC 70/30	4,32
CLF 20/30-PC 60/40	4,75
CLF 20/30-PC 50/50	5,42
CLF 20/30-PC 40/60	4,21
CLF 20/30-PC 30/70	3,6
CLF 20/30-PC 20/80	2,77
CLF 20/30-PC 10/90	2,56
CLF 20/30-C 100	2,35



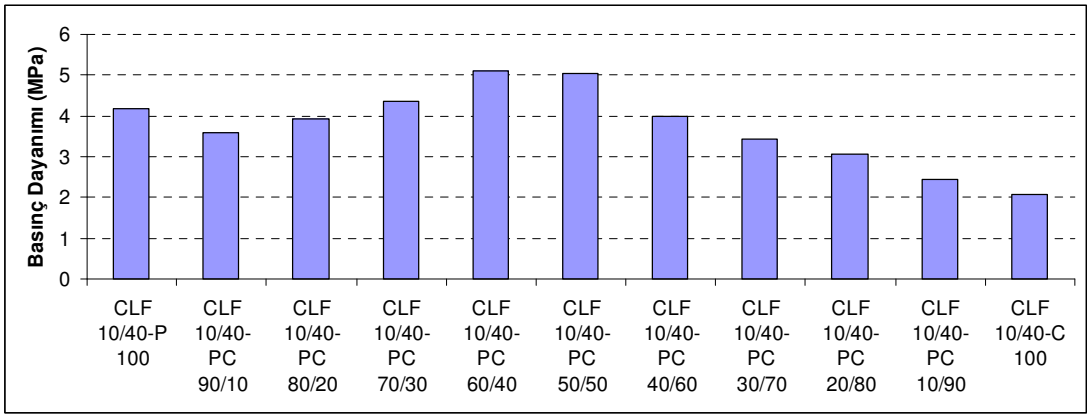
Şekil 4.18: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği

Şekil 4.18'de basınç dayanımları eğilme dayanımlarına paralellik göstermiş fakat %100 perlitli numunelerin basınç dayanımı eğilme dayanımları gibi yüksek çıkmamıştır. 40/60 perlit/siklon oranına kadar mukavemetler dalgalanmaktadır.

Tablo 4.25'de %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.19'daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.25: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanımları(Mpa)
CLF 10/40-P 100	4,18
CLF 10/40-PC 90/10	3,6
CLF 10/40-PC 80/20	3,92
CLF 10/40-PC 70/30	4,37
CLF 10/40-PC 60/40	5,11
CLF 10/40-PC 50/50	5,04
CLF 10/40-PC 40/60	4
CLF 10/40-PC 30/70	3,42
CLF 10/40-PC 20/80	3,07
CLF 10/40-PC 10/90	2,44
CLF 10/40-C 100	2,06



Şekil 4.19: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının basınç dayanımlarının grafiği

Şekil 4.19'da 60/40 ve 50/50 perlit/siklon oranlarına sahip numunelerin diğerlerinden daha mukavemetli olduğu dikkat çekmekte, perlit ve siklon yüzdeleri daha fazla arttığında dayanımların azaldığı görülmektedir.

Seçilen bağlayıcı içeriklerinde üretilen siklon-perlit numuneleri yüksek perlit içeriklerinde basınç dayanımındaki değişim dengeli olmamaktadır. Bunun nedeni ise pres altında sıkıştırılma sırasında perlitin ezilmesi veya boşluklarının çimento hamuru ile dolmasıdır. Yaklaşık %50 siklon ve %50 perlit içeriğinden sonra basınç dayanımı siklon miktarındaki artış ile birlikte azalmaktadır.

%100 çimento içeriğindeki numuneleri en yüksek basınç dayanımlarına sahiptirler. %50 çimento %20 kireç ve %30 uçucu kül içeriğindeki numuneler ve %50 çimento

%10 kireç ve %40 uçucu kül içeren numunelere göre daha iyi performans göstermişlerdir.

4.3.1.3. Su emme ve birim ağırlık

ASTM C 67-08 standartları esas alınarak harç numunelerinin su emme ve kuru birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Üretilen numuneler 24 saat suda bekletildikten sonra yüzeyleri bir bezle kurutularak hassas terazide doygun kuru yüzey ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra 24 saat 110 ± 5 ˚C'de değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulduktan sonra terazide etüv kurusu halde ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen bu ağırlıklar aşağıdaki formüllerde yerlerine konularak harç numunelerinin su emmeleri ve kuru birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

Ağırlıkça yüzde su emme oranı;

$$Sa = \frac{W_d - W_k}{W_k} x100 \tag{4.3}$$

$Sa =$ Ağırlıkça yüzde su emme (%)

$W_d =$ Doygun kuru yüzey ağırlık (gr)

$W_k =$ Kuru ağırlık (gr)

Kuru birim ağırlık ;

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \tag{4.4}$$

$\Delta =$ Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

$W_k =$ Kuru ağırlık (gr)

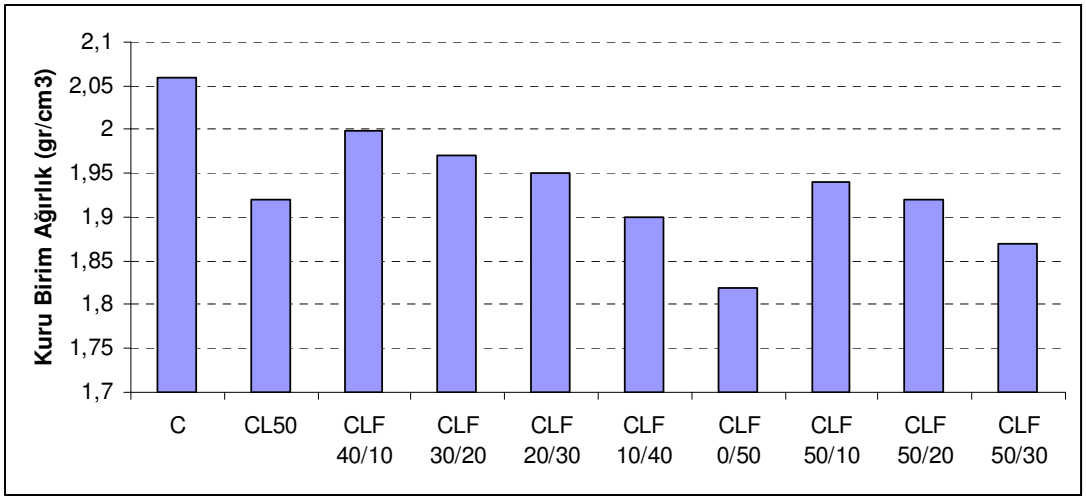
$V =$ Numune hacmi (cm^3)

Tablo 4.26'da bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri görülmektedir. Bu birim ağırlıklara su emme değerlerine göre Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'deki grafikler oluşturulmuştur.

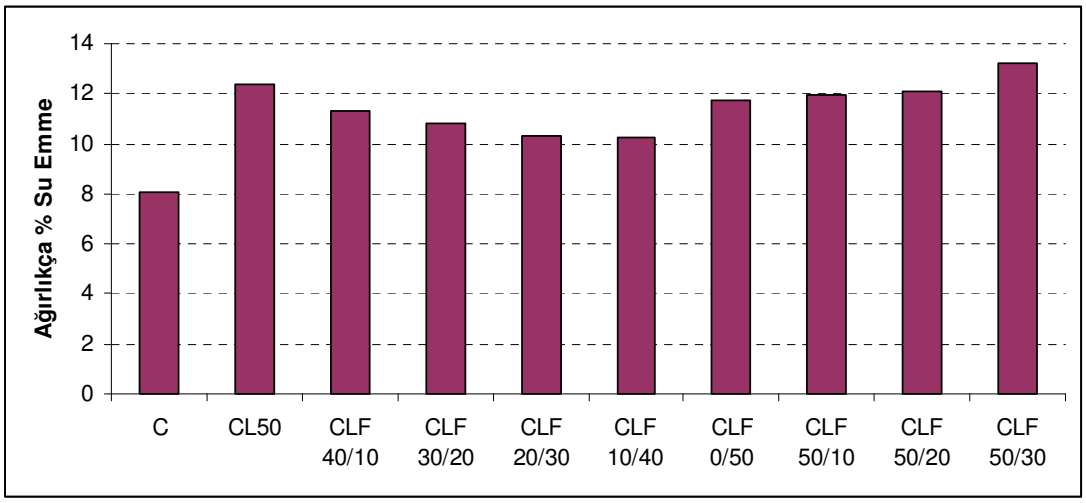
Tablo 4.26: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri

Numune No	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça % Su Emme
C	2,06	8,08
CL50	1,92	12,35
L100	-*	-*
CLF 40/10	2	11,33
CLF 30/20	1,97	10,83
CLF 20/30	1,95	10,35
CLF 10/40	1,9	10,27
CLF 0/50	1,82	11,72
CLF 50/10	1,94	11,96
CLF 50/20	1,92	12,11
CLF 50/30	1,87	13,19
CLF 50/40	-*	-*
LF 50/50	-*	-*

* Bu numunelerden suda dağıldıkları için değer alınamamıştır.



Şekil 4.20: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları



Şekil 4.21: Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerin ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği

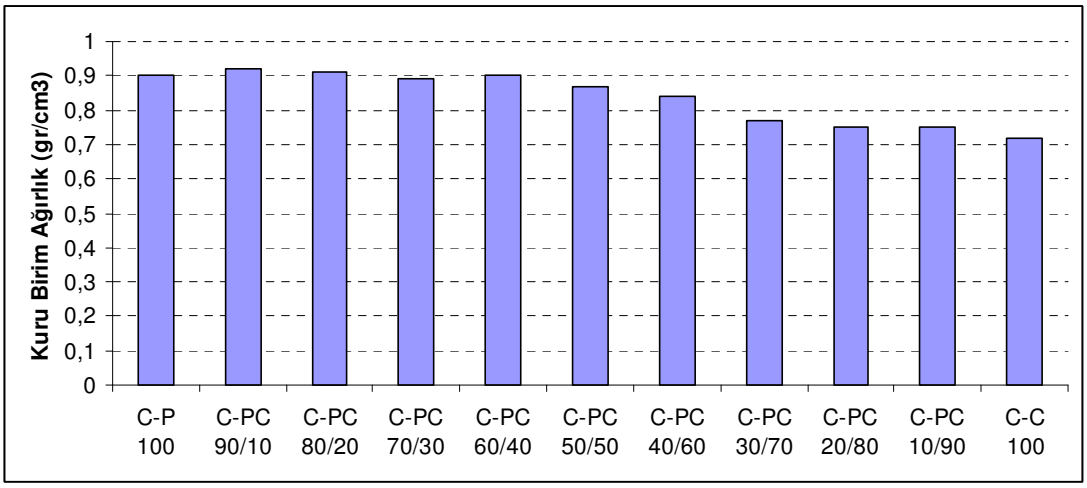
Şekil 4.20 ve 4.21'deki grafiklerin paralelliği dikkat çekicidir ve birim ağırlık arttıkça su emme değerleri azalmaktadır. Kuru birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde perlit kullanımı birim ağırlık değerlerinin yaklaşık 2 gr/cm^3 civarına düşmesini sağlamaktadır. Uçucu kül kullanımı kum-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarını 1,82 gr/cm^3'e kadar azalmasında etkili olmaktadır.

Su emme değerlerine bakıldığında ise kireç oranının su emme değerlerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bağlayıcıdaki kireç oranının artışına paralel olarak ağırlıkça yüzde su emme değerleri de artmaktadır. %100 çimento içeriğinde ise %8,08 değeri ile en düşük ağırlıkça yüzde su emme ortaya çıkmaktadır.

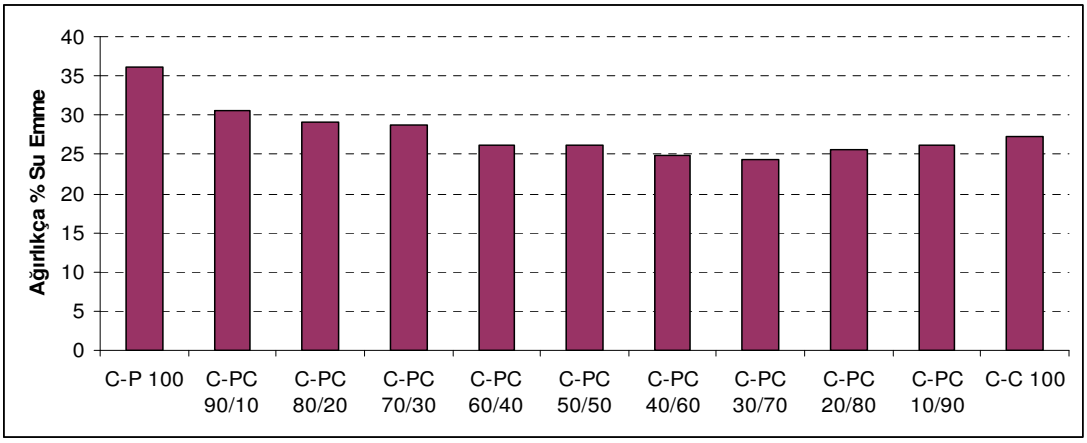
Tablo 4.27'de %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri görülmektedir. Bu birim ağırlıklara su emme değerlerine göre Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'deki grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 4.27: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklar ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri

Numune No	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça % Su Emme
C-P 100	0,9	36,04
C-PC 90/10	0,92	30,55
C-PC 80/20	0,91	29,2
C-PC 70/30	0,89	28,75
C-PC 60/40	0,9	26,17
C-PC 50/50	0,87	26,1
C-PC 40/60	0,84	24,96
C-PC 30/70	0,77	24,25
C-PC 20/80	0,75	23,57
C-PC 10/90	0,75	26,15
C-C 100	0,72	27,27



Şekil 4.22: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği



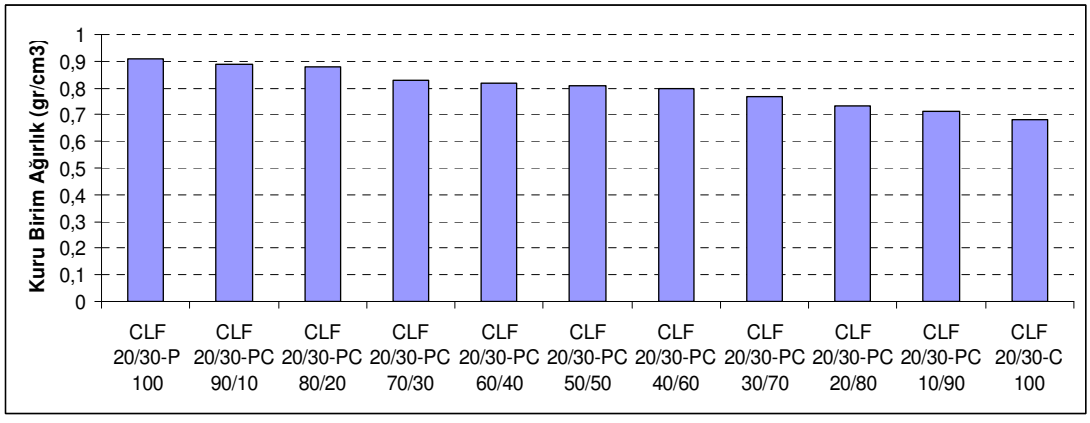
Şekil 4.23: %100 çimento içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği

Şekil 4.22 ve 4.23'de görüldüğü gibi birim ağırlık ve su emmeler paralellik göstermemiştir. Bunun sebebi siklon oranının artarak perlitin boşluklarını doldurmasıdır. Fakat yeterli doluluğa eriştikten sonra siklon da boşluklu bir malzeme olduğundan, birim ağırlık düşmeye devam ederken su emmeler tekrar artış göstermiştir.

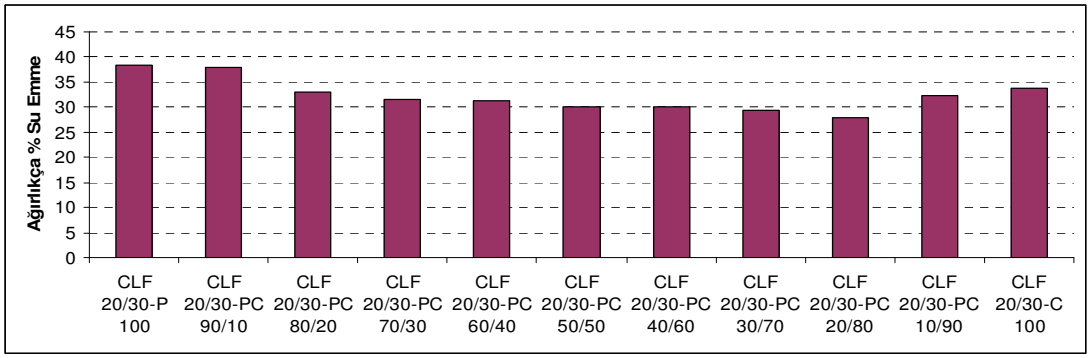
Tablo 4.28'de %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri görülmektedir. Bu birim ağırlıklara su emme değerlerine göre Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'deki grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 4.28: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri

Numune No	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça % Su Emme
CLF 20/30-P 100	0,91	38,46
CLF 20/30-PC 90/10	0,89	37,95
CLF 20/30-PC 80/20	0,88	33,06
CLF 20/30-PC 70/30	0,83	31,59
CLF 20/30-PC 60/40	0,82	31,31
CLF 20/30-PC 50/50	0,81	30,15
CLF 20/30-PC 40/60	0,8	30,07
CLF 20/30-PC 30/70	0,77	29,3
CLF 20/30-PC 20/80	0,73	27,83
CLF 20/30-PC 10/90	0,71	32,27
CLF 20/30-C 100	0,68	33,68



Şekil 4.24: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği



Şekil 4.25: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği

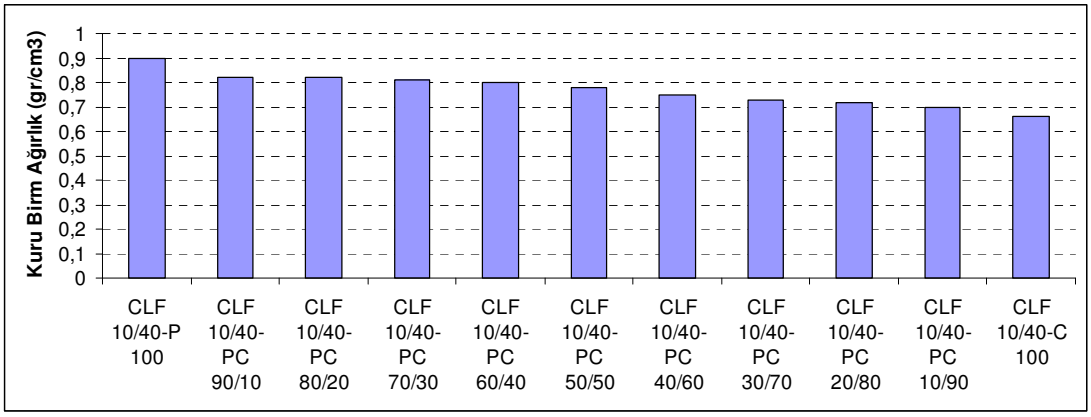
Şekil 4.24 ve 4.25 neredeyse Şekil 4.22 ve 4.23'de görülen grafiklerin aynısıdır. Dolayısı ile %20 kireç ve %30 puzolanın birim ağırlık su emmeleri ve grafik eğilimini ciddi anlamda değiştirmediği görülmüştür.

Burada gibi birim ağırlık ve su emmeler paralellik göstermemiştir. Bunun sebebi siklon oranının artarak perlitin boşluklarını doldurmasıdır. Fakat yeterli doluluğa eriştikten sonra siklon da boşluklu bir malzeme olduğundan, birim ağırlık düşmeye devam ederken su emmeler tekrar artış göstermiştir.

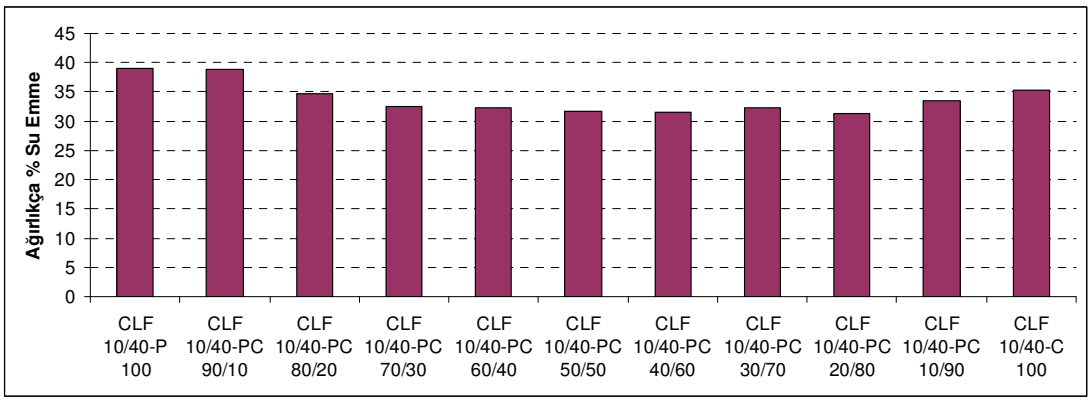
Tablo 4.29'da %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit oranı araştırması için üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri görülmektedir. Bu birim ağırlıklara su emme değerlerine göre Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'deki grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 4.29: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıkları ve ağırlıkça yüzde su emme değerleri

Numune No	Kuru Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlıkça % Su Emme
CLF 10/40-P 100	0,9	38,98
CLF 10/40-PC 90/10	0,82	38,87
CLF 10/40-PC 80/20	0,82	34,6
CLF 10/40-PC 70/30	0,81	32,57
CLF 10/40-PC 60/40	0,8	32,37
CLF 10/40-PC 50/50	0,78	31,74
CLF 10/40-PC 40/60	0,75	31,46
CLF 10/40-PC 30/70	0,73	32,33
CLF 10/40-PC 20/80	0,72	31,4
CLF 10/40-PC 10/90	0,7	33,51
CLF 10/40-C 100	0,66	35,2



Şekil 4.26: %50 çimento %10 kireç ve % 40 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının kuru birim ağırlıklarının grafiği



Şekil 4.27: %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül içeriğine sahip siklon-perlit karışımlarının ağırlıkça yüzde su emme değerlerinin grafiği

Şekil 4.26 ve 4.27 de yukarıdaki birim ağırlık ve su emme grafiklerinden çok farklı bir görüntü çizmemiştir. Yine eğilim aynıdır.

Kuru birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde siklon oranının artışı ile birim hacim ağırlığı değerlerinin düşmeye başladığı görülmektedir. Bunu nedeninin ise siklon tanelerinin perlit tanelerinin arasına girerek basınç altında perlitin ezilmesini ya da boşluklarının çimento hamuru ile dolmasını engellemesi ve böylece siklonun hem düşük birim ağırlığı ve hem de boşluğu ile numunelerin de birim ağırlığının düştüğü düşünülmektedir.

Seçilen bağlayıcı oranlarına göre birim ağırlıklardaki değişim incelendiğinde ise beklenildiği gibi bağlayıcı oranın %100 çimento olan numunelerin birim hacim ağırlıkları %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül ve %50 çimento %10 kireç ve

%40 uçucu kül bağlayıcı içeriğine sahip numunelerinkinden biraz daha yüksek çıkmıştır. Uçucu kül ve kirecin az da olsa birim ağırlığın düşmesine yardımcı olduğu görülmektedir. %40 uçucu kül içeriğine sahip numunelerde birim ağırlık değerleri 0,66 gr/cm^3 değerine kadar düşebilmektedir.

Su emme değerlerine bakıldığında ise en yüksek su emmeye %100 perlit içeriğindeki numunelerin sahip oldukları görülmektedir. Siklon miktarının artışı ile birlikte su emmede azalma meydana gelmektedir. Siklon taneleri birim hacim ağırlıkta olduğu gibi boşluk doldurucu etkisi ile su emmeyi azaltmaktadır. Ancak bu etki %90 siklon %10 perlit ve %100 siklon içeriğine sahip numunelere kadar sürmektedir. Bu numunelerinin su emme değerlerinde artış meydana gelmektedir.

Seçilen bağlayıcı oranlarına göre su emme değerleri incelendiğinde ise; bağlayıcısı %100 çimento olan numunelerin su emme değerleri %50 çimento, %20 kireç ve % 30 uçucu kül ile %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül bağlayıcı içeriğine sahip numunelerinkinden daha düşük çıkmaktadır. Bunun sebebi ise çimento içeriğinin azalması su emmeyi arttırmasıdır. Uçucu kül ve kireç su emme değerlerinin artmasına neden olmaktadır. %50 çimento %20 kireç ve % 30 uçucu kül ile %50 çimento %10 kireç ve %40 uçucu kül bağlayıcı içeriğine sahip numunelerin su emme değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır.

Buradaki değerler 105x225x75 mm boyutundaki numuneler için de geçerli değerlerdir. Çünkü harç numuneleri ile duvar elemanı boyutundaki numuneler aynı karışım özellikleriyle ve aynı üretim prosesine sahip olduklarından bu değerlerde herhangi bir değişiklik olmayacaktır ve bu deneylerin 105x225x75 mm boyutundaki numuneler için bir daha tekrar edilmesine gerek yoktur.

4.3.2. Duvar elemanı boyutundaki numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

4.3.2.1. Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı deneyi 105x225x75 mm boyutundaki duvar elemanlar üzerinde BS 6073 standardına uygun mesnet açıklığı 180 mm, yükleme hızı 0,02 MPa/sn olacak şekilde tek noktadan yüklenerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kırılma yükü

aşağıdaki formülde yerine konarak eğilme dayanımı beş numunenin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

$$\sigma_e = 1{,}5x\frac{FxL}{bxd^2} \tag{4.5}$$

σ_e = N/mm^2 (MPa)

F=Kırılma anındaki yük (N)

L=Mesnet açıklığı (mm)

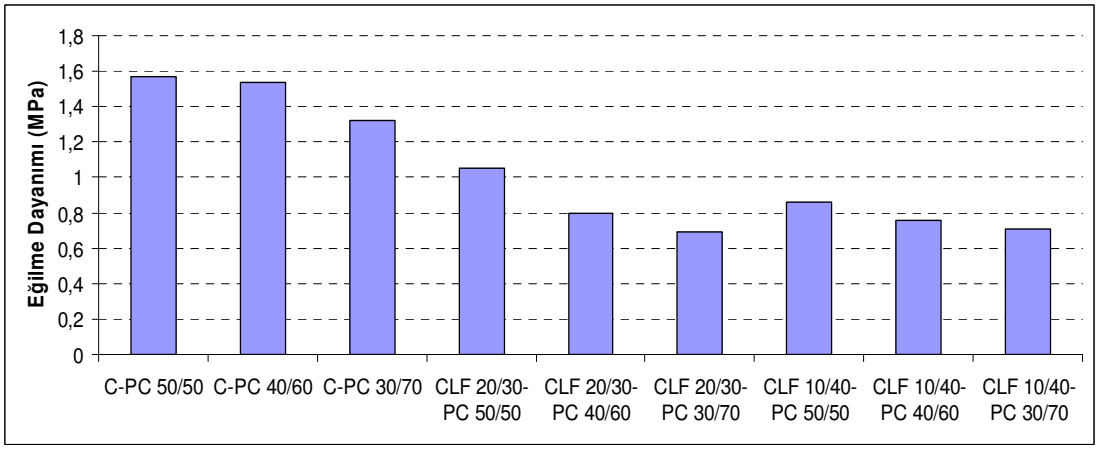
b= Numune genişliği (mm)

d=Numune yüksekliği (mm)

Tablo 4.30'da duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin eğilme dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.28'deki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.30: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin eğilme dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımı (Mpa)
C-PC 50/50	1,57
C-PC 40/60	1,54
C-PC 30/70	1,32
CLF 20/30-PC 50/50	1,05
CLF 20/30-PC 40/60	0,8
CLF 20/30-PC 30/70	0,69
CLF 10/40-PC 50/50	0,86
CLF 10/40-PC 40/60	0,76
CLF 10/40-PC 30/70	0,71



Şekil 4.28: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin eğilme dayanımlarının grafiği

Şekil 4.28'de görüldüğü gibi sadece çimento bağlayıcılı numuneler diğer numunelere göre daha iyi mukavemet vermiş, en düşük sonuçları kireç/uçucu kül oranı 10/40 olan numuneler vermiştir. Bunun yanında perlit/siklon oranı 50/50'den 30/70'e doğru değiştikçe mukavemetler de düzenli olarak azalmaktadır.

Elde edilen değerler incelendiğinden genel olarak harç numunelerinde elde edilen dayanımlardan düşük çıktıkları görülmektedir. Duvar elemanı olarak üretilen numunelerin eğilme dayanımlarında meydana gelen bu azalma boyut etkisinden kaynaklanmaktadır.

4.3.2.2. Basınç dayanımı

Duvar elemanlarının basınç dayanımları kırılan 105x225x75 mm boyutlarındaki numunelerden elde edilen parçalar üzerinden BS 6073 standardına uygun olarak test edilmiştir. Eğilmede kırılan parçalar 105x90 mm boyutlarında iki plaka yardımı ile 0,1 MPa/sn yükleme hızı ile basınç altında kırıldıkları yükler tespit edilmiştir. Elde edilen bu yükler aşağıdaki formülde yerine konarak beş numunenin ortalaması alınarak basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4.6}$$

$\sigma =$ Basınç dayanımı (N/mm^2, MPa)

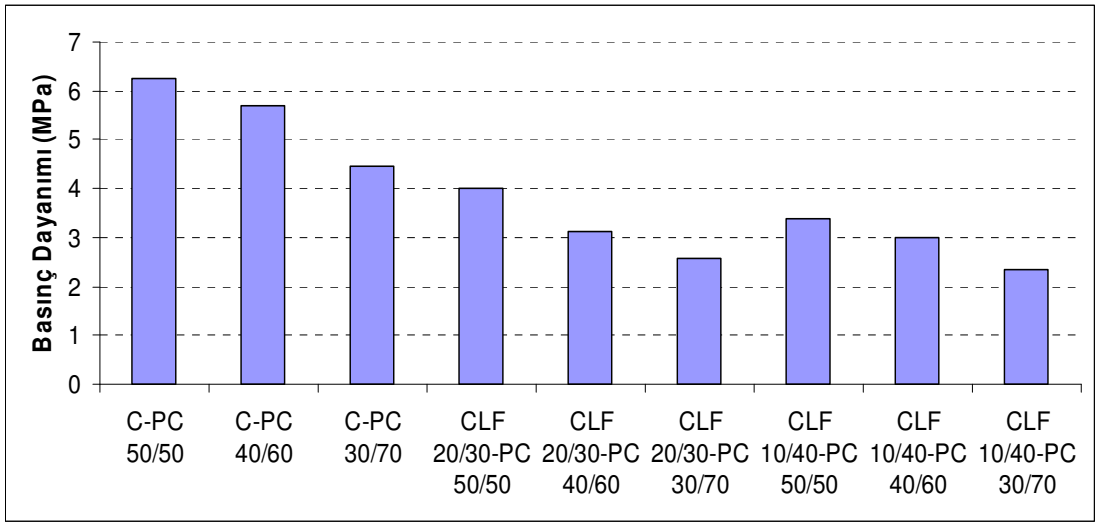
$F =$ Kırılma anındaki yük (N)

$A =$ Basınç uygulanan yüzey alanı (mm^2)

Tablo 4.31'de duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin basınç dayanımları görülmektedir. Bu dayanımlara göre Şekil 4.29'daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.31: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin basınç dayanımları

Numune No	Basınç Dayanım (Mpa)
C-PC 50/50	6,24
C-PC 40/60	5,69
C-PC 30/70	4,47
CLF 20/30-PC 50/50	3,99
CLF 20/30-PC 40/60	3,11
CLF 20/30-PC 30/70	2,56
CLF 10/40-PC 50/50	3,4
CLF 10/40-PC 40/60	3
CLF 10/40-PC 30/70	2,36



Şekil 4.29: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin basınç dayanımlarının grafiği

Şekil 4.29'un 4.28 ile çok büyük paralellik gösterdiği ve eğilimin aynı olduğu görülmektedir. Yine çimentolu numuneler en iyi sonuçları vermiş ve siklon oranının artışı dayanımı olumsuz etkilemiştir.

Deneysel çalışmada üretilen duvar elemanlarının basınç dayanımları harç numuneleri ile karşılaştırıldığında boyut etkisinden kaynaklanan dayanım azalması görülmektedir. Ancak oluşan bu azalmalara rağmen basınç dayanımları piyasada genellikle sınır olarak kabul edilen 2 MPa altına düşmemektedir.

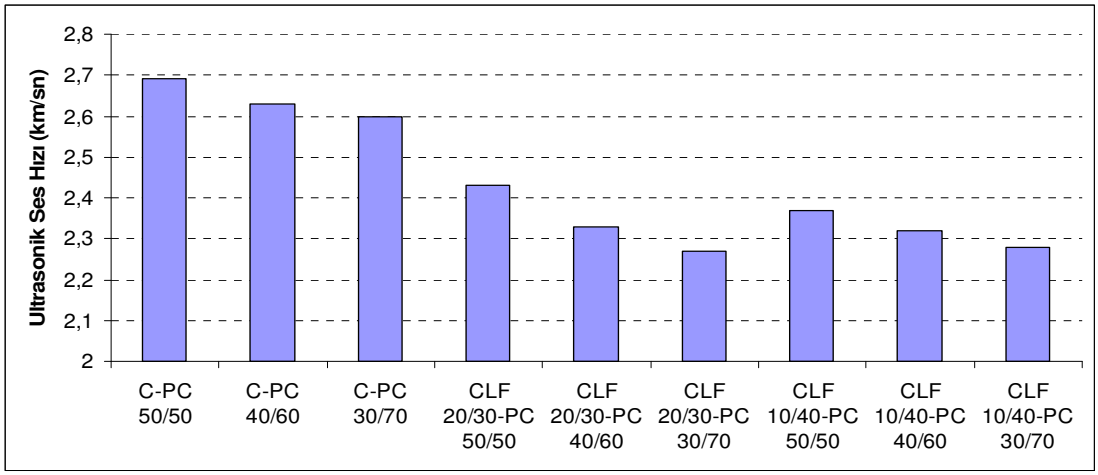
4.3.2.3. Ultrasonik ses hızı

Ultrasonik ses hızının tespiti 105x225x75 mm boyutundaki 5 numunenin 105x75 mm'lik karşılıklı yüzeylerinden TS EN 12504-4 standardına uygun olarak yapılmış

ve bu numunelerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Cihaz kullanılmadan önce kalibrasyon silindiri ile kalibre edilmiştir. Daha sonra her okumadan önce duvar elemanı ile temas edecek kısımlar gres yağı ile yağlanarak ultrasonik ses hızı değerleri tespit edilmiştir. Böylece ölçüm yapılan uzunluk bu değerlere bölünerek ve gerekli çevirim işlemleri yapılarak km/sn değerlerine ulaşılmıştır. Tablo 4.32'de numunelerin ultrasonik ses hızı sonuçları verilmektedir. Bu değerlere göre Şekil 4.30'daki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.32: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ultrasonik ses hızı değerleri

Numune No	Ultrasonik Ses Hızı (km/sn)
C-PC 50/50	2,69
C-PC 40/60	2,63
C-PC 30/70	2,6
CLF 20/30-PC 50/50	2,43
CLF 20/30-PC 40/60	2,33
CLF 20/30-PC 30/70	2,27
CLF 10/40-PC 50/50	2,37
CLF 10/40-PC 40/60	2,32
CLF 10/40-PC 30/70	2,28



Şekil 4.30: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ultrasonik ses hızı değerlerinin grafiği

Tablo 4.32 ve Şekil 4.28'deki değerler incelendiğinde elde edilen sonuçlar basınç dayanımı değerleri ile örtüşmektedir. En yüksek ultrasonik ses hızı değerlerine sahip olan %100 çimento içerikli numunelerin basınç dayanımları da en yüksek değerlerdir. Çimento harici bağlayıcılar ve siklon oranı artışı da yine ultrases hızını düşürmektedir.

4.3.2.4. Isıl iletkenlik

Üretilen 105x225x75 mm boyutundaki duvar malzemelerinin ısıl iletkenlik kat sayısı TS EN ISO 8990 standardına uygun olarak sıcak oda (Hot-Box) yöntemi ile bulunmuştur. Bu yöntemde sıcak ve soğuk ortamın meydana getirilebildiği iki odacık bulunmaktadır. Etüvde kurutulmuş deney numunesi bu iki odacığın arasına Şekil 4.31'de gösterildiği gibi kenarlarından ısı kaçışı olmayacak şekilde yalıtım yapılarak yerleştirilmiş ve ısı değişimine duyarlı sensör numune yüzeyine ayrılmayacak şekilde temas ettirilmiştir.



Şekil 4.31: Isıl iletkenlik cihazına yerleştirilmiş numune

Daha sonra iki odalardan ayrı ayrı soğuk hava ve sıcak hava verilerek çalıştırılıp, odalar arasında ısıl dengenin oluşması ve sistemin kararlı hale gelmesi beklenir. Her bir ortam (soğuk ve sıcak) için aynı proses tekrarlanarak ikinci bir ısıl iletkenlik katsayısı bulunur. Duvar malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı bu iki değerin aritmetik ortalamasının alınması alınarak elde edilir. Deneylere başlarken

karşılaştırma yapabilmek için bir gazbeton numunesi üzerinde ısıl iletkenlik deneyi gerçekleştirilmiş olup, elde edilen değerler standart gazbeton ısıl iletkenlik katsayıları ile uyumluluk göstermiştir. Cihazdan elde edilen veriler aşağıdaki 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12 nolu denklemlerde yerine konarak duvar malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı hesaplanır.

$$\lambda = \frac{D}{R} \tag{4.8}$$

$\lambda =$ Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)

$R =$ Isıl direnç (m^2K/W)

$D =$ Numune kalınlığı (m)

$$R = \frac{A(T_{n1} - T_{n2})}{Q} \tag{4.9}$$

$A =$ Ölçme alanı (m^2)

$Q =$ Ölçme kutusuna sağlanan güç

$Tn =$ Çevre sıcaklığı

$$Tn = \frac{Ta\dfrac{Q}{A} + Eh_r(T_a - T_r^{'})T_s}{\dfrac{Q}{A} + Eh_r(T_a - T_r^{'})} \tag{4.10}$$

$T_a =$ Civardaki çevre sıcaklığı (K veya ˚C)

$T_r^{'} =$ Deney numunesinde görülen ortalama radyant sıcaklı (K veya ˚C)

$T_s =$ Deney numunesinin yüzey sıcaklığı (K veya ˚C)

$E =$ Salım faktörü (0,9)

$h_r =$ Radyasyon katsayısı (W/m^2K)

$$h_r = 4\sigma T_m^3 \tag{4.11}$$

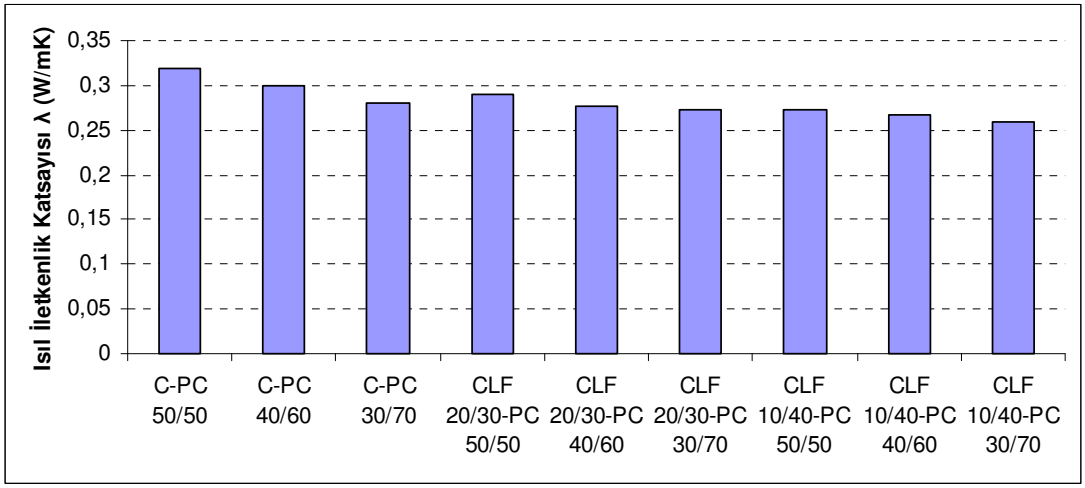
$\sigma =$ Stefan Boltzman sabiti [5,67 x 10^{-8} $W/(m^2.K^4)$]

$$T_m = \frac{T_{r1} + T_{s1}}{2} \tag{4.12}$$

Tablo 4.33'de duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayıları ve ısıl dirençleri verilmektedir. Bu değerlere göre Şekil 4.32'deki grafik oluşturulmuştur. Şekil 4.33'de ise ısıl iletkenlik katsayılarının birim ağırlığa göre değişimi gösterilmektedir.

Tablo 4.33: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayıları ve ısıl dirençleri

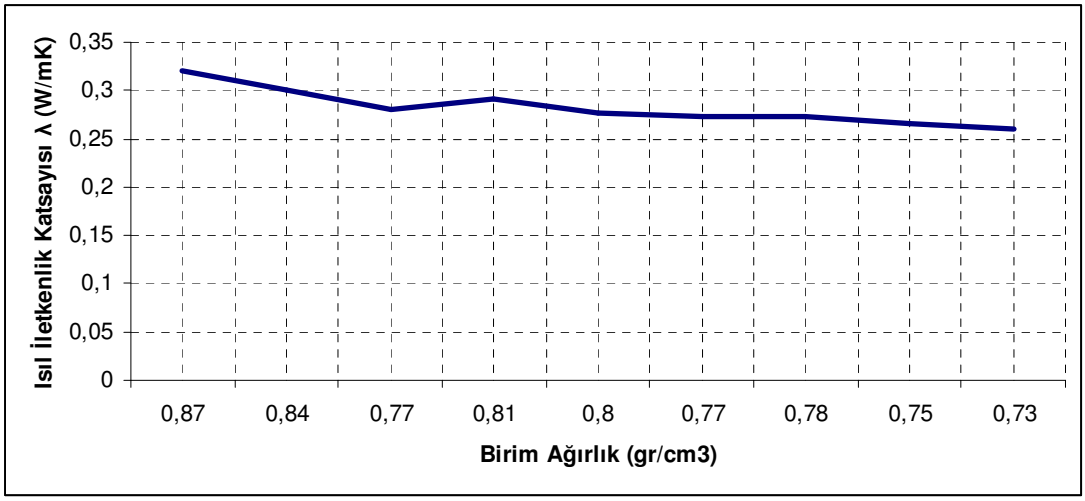
Numune No	Isıl İletkenlik Katkayısı λ (W/mK)	Isıl Direnç R (m^2K/W)
C-PC 50/50	0,32	0,23
C-PC 40/60	0,3	0,25
C-PC 30/70	0,28	0,267
CLF 20/30-PC 50/50	0,291	0,257
CLF 20/30-PC 40/60	0,276	0,271
CLF 20/30-PC 30/70	0,273	0,274
CLF 10/40-PC 50/50	0,273	0,274
CLF 10/40-PC 40/60	0,266	0,281
CLF 10/40-PC 30/70	0,26	0,288



Şekil 4.32: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayılarının grafiği

Şekil 4.32'de görüldüğü gibi grafiğin eğilimi yukarıdaki basınç, eğilme ve ultrases grafiklerini andırmakta, ancak aradaki farklılıklar daha az görülebilmektedir. Numunelerin içinde çimento haricinde bağlayıcı bulunması ve siklon oranının artışı ısıl iletkenlik katsayılarını azaltarak, malzemenin yalıtım düzeyini artırmaktadır. Aslında çimento harici bağlayıcılar kullanılması ya da siklon oranının artırılması malzemenin birim ağırlıklarını düşürdüğünden dolayı ısıl iletkenlik katsayısı azalmıştır. Zaten birim ağırlık-ısıl iletkenlik katsayısı ilişkisinin verildiği Şekil 4.33'deki grafik adeta Şekil 4.32'nin tepe noktaları birleştirilerek çizilmiş gibidir.

Isıl iletkenlik katsayılarının değişimi 0,32 W/mK ile 0,26 arasında gerçekleşmektedir. Standartta sıcak ve soğuk çevrimlerden sonra numune ağırlıklarının ölçülmesi istenmiş olup, yapılan ölçümlerde numune ağırlıklarında bir değişim olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.33: Duvar elemanı olarak üretilmiş numunelerin ısıl iletkenlik katsayılarının birim hacim ağırlığa göre değişimi

4.4 Üretilen Yeni Malzemenin Diğer Duvar Elemanları İle Kıyaslanması

Gerçekleştirilen çalışmada üretilen duvar malzemesi üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler piyasada çok kullanılan duvar elemanları ile karşılaştırılmıştır. Malzemelerin özellikleri bir yıldız ile dört yıldız arasında değerlendirilerek Tablo 4.34 elde edilmiştir.

Tablo 4.34: Üretilen yeni duvar malzemesinin piyasada kullanılan duvar elemanları ile karşılaştırılması

Malzeme	Hafiflik	Isıl İletkenlik	Su Emme	Basınç Dayanımı	Üretim Maliyeti	Toplam Maliyet
Üretilen Malzeme	***	**	*	***	***	*
Gazbeton	****	****	*	*	*	**
Bimsblok	**	***	***	**	****	***
Tuğla	*	*	***	***	*	****

* Kötü
** Normal
*** İyi
***** Çok iyi

Yukarıdaki tablo incelendiğinde üretilen yeni duvar malzemesinin tuğladan çok daha düşük ve gazbeton ile bimsblok arasında bir hafifliğe sahip olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, günümüzde önemi bir kat daha artan ısı yalıtım değerleri açısından, bu çalışmada üretilmiş olan malzeme bimsblokla yakın bir yalıtım değerlerine sahiptir. Fakat üretilen duvar malzemesi bimsblok gibi delikli üretilmediğinden dolayı yalıtım değeri yakın ama bimsbloğun biraz altında kalmıştır. Gazbeton gibi çok gözenekli ve düşük birim ağırlıklı olduğundan yüksek su emme özelliğine sahiptir. Mekanik açıdan değerlendirildiğinde ise gazbeton ve bimsbloktan çok daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olmuştur. Tuğlada olduğu gibi basınç dayanımları istenilen ölçüde artırılıp azaltılabilmektedir. Gazbeton üretimi piyasada genellikle standart olduğundan dayanımları da oldukça düşüktür. Bimsblok ise yalıtımı sağlamak adına çok delikli üretilmek zorunda olduğundan bu durum basınç dayanımlarını azaltmaktadır. Duvar malzemeleri sadece üretim sırasında ortaya çıkan maliyetleri açısından değerlendirildiğinde, bu çalışmada elden edilen ürün gazbeton ve tuğla gibi duvar elemanlarından çok daha üstün durumdadır. Çünkü gazbeton yaklaşık 200 °C sıcaklık ve 9-12 atm basınç verilerek, tuğla ise 850-900 °C sıcaklık verilerek üretilmektedir. Duvar elemanı ise 35 °C gibi çok düşük bir üretim ısısı kullanılmıştır. Ancak satış öncesi toplam maliyet değerlendirmesi yapıldığında üretilen bu yeni duvar malzemesi piyasada kullanılan duvar malzemelerine göre çok daha pahalı olmaktadır. Bunun başlıca nedeni hafif duvar malzemesi üretiminde kullanılan siklonun yurt dışına ihracından kaynaklanan yüksek satış fiyatıdır. Buna karşın genel olarak değerlendirme yapılacak olursa bu çalışmada üretilmiş duvar malzemesi diğer duvar malzemelerinin kalitelerini aşağı yukarı sağlamıştır ve onların arasında yer bulabilecek düzeydedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Bağlayıcı araştırmasında üretilen numunelerde kum-perlit kullanımı ile birim ağırlık değerleri ciddi bir biçimde aşağı çekilememiş, Topçu ve Işıkdağ'ın (2008) yapmış oldukları çalışmada elde ettikleri sonuçlara benzer şekilde birim ağırlık değerleri elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle duvar elemanı üretiminde hafifleştirme amacını sağlamak için 0,62 gr/cm^3'lük birim ağırlığa sahip endüstriyel bir atık olan siklon külü kullanılmıştır.

2. Kum-perlit numunelerinin su emme değerleri üzerinde kireç oranının değişimi etkili olmuştur. Bu oranın artışı su emmenin artışına neden olmuş, ancak kireç içeriğinin olmadığı durumda bile %8 su emme değeri ortaya çıkmıştır. Bu durum perlitin ciddi oranda su emmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır.

3. Deneysel çalışmada üretilen numunelerin içerdiği siklon miktarının artması belli bir noktaya kadar mekanik ve fiziksel özellikler üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Böylece endüstriyel bir atık değerlendirilerek, çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır. Ancak siklon külünün yüksek fiyattan satışı üretilen numunelerin maliyetini arttırmaktadır.

4. Siklon külü oranın arttırılması ile üretilen numunelerin birim ağırlıkları 0,66 gr/cm^3'e kadar düşürülebilmektedir. Bu sayede bina ölü ağırlığını azaltarak, yapıların depremlere karşı daha dayanıklı olmaları sağlanabilir. Aynı şekilde siklon külündeki artış perlitte de azalmayı beraberinde getirdiğinden numunelerin su emme değerlerini azaltmaktadır. Ancak bu azalma %90 siklon içeriğine kadar sürmektedir. Bu artışa rağmen ağırlıkça su emme %25 ile %40 arasında gerçekleşmekte ve gazbeton gibi hafif ağırlıktaki yapı malzemeleri ile benzer performans göstermektedir (Aroni ve diğ., 1993).

5. Eğilme ve basınç deneylerinde kırılan siklonlu numuneler incelendiklerinde boşluklu gözenekli bir yapıya sahip oldukları görülmüştür. Bu durumun, siklon külünün kimyasal yapısında önemli miktarda bulunan alüminin gazbeton üretiminde kullanılan alüminyum tozuna benzer şekilde kimyasal reaksiyona girerek genleşmelere neden olduğu ve tanecikler arasında hava boşluğu oluşturduğu düşünülmektedir. Fakat bu düşüncenin ispatlanabilmesi için kimyasal analizin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

6. Duvar malzemesi üretiminde kullanılan siklonda ve perlitte yüksek oranda SiO_2 bulunmaktadır. Bu sayede bağlayıcı içeriğinde bulunan kireç ile reaksiyon meydana gelerek dayanım artışları meydana getirdiği düşünülmektedir.

7. Alternatif duvar elemanı üretiminde uçucu kül kullanımı ileriki yaşlarda dayanımların daha yüksek çıkmasını sağlamaktadır. Ayrıca uçucu kül kullanımı birim ağırlıkların düşürülmesinde olumlu yönde katkı sağlamaktadır.

8. Türkiye'nin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayan termik santrallerden her yıl çevre kirliliğine sebep olan yüz binlerce ton endüstriyel atık ortaya çıkmaktadır. Siklon külü ve uçucu kül de bu atıklardan ikisidir. Yapılan bu çalışma ile çevre açısında ciddi bir problem oluşturan bir malzemenin geri dönüşümü sağlanmaktadır.

9. Duvar elemanı olarak üretilmiş numuneler, ısı yalıtımına katkı sağlayan ısıl iletkenlik katsayılarına sahip olmuşlardır. Sahip oldukları ısıl iletkenlik katsayıları, birim ağırlıkları ile uyumlu çıkmıştır.

10. Üretilen numuneler gazbetona göre daha az tozuma yapmakta, gazbetonda olduğu gibi basit bir el testeresi ile rahatlıkla istenen boyutlarda kesilebilmektedir. Bu sayede siklon-perlit numuneleri duvar elemanı olarak daha etkin kullanılabilir.

11. Gerçekleştirilmiş olan bu deneysel çalışmanın devamında üretilmiş olan duvar elemanları üzerinde, diferansiyel termal analizi (DTA), X-ışını difraksiyon spektroskopisi (XRD) ile SEM analizi yapılabilir. Böylece alternatif duvar

malzemesinin ısıl davranışı, mineralojik özellikleri ve içyapısı hakkında daha fazla bilgi edinilebilir.

12. Deneysel çalışmada üretilen duvar elemanları dayanımları yüksek olduğundan delikli tuğla ve bims blok gibi boşluklu da üretilebilir. Bu üretim şekli ile numunelerin ısıl iletkenlik katsayılarının daha da aşağıya çekilmesi mümkündür. Hatta elde edilecek değerler gazbetonun sahip olduğu ısıl iletkenlik katsayılarından daha düşük olabilir. Ancak bu durumun dayanım ve birim ağırlığın asgari düzeye çekilerek araştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Algin, H., M., Turgut, P., "Cotton And Limestone Powder Wastes As Brick Material", ***Construction and Building Materials,*** 22, 1074–1080, (2008)

ASTMC 67-08 "Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile", Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, (2003)

Aroni, S., Groot, G.J.de, Robinson, M.J., Svanholm, G., ve Wittman, F.H., "Autoclaved Aerated Concrete Properties, Testing and Desing" ***RİLEM Technical Committess 78- MCA and 51 ALC***, 12-40, (1993)

Bayraktar, İ., Ersayın, S., Ergün, L., Benzer H., ve Akgün M., "Gazbeton Üretimi İçin Kuvarsit Kırma-Öğütme Devresi Tasarımı Ve Uygulama Sonuçları", ***Türkiye 16. Madencilik Kongresi***, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 303, (1999)

Barbare, N., Shukla, A., Bose, A., "Uptake and loss of water in a cenosphere–concrete composite material", ***Cement and Concrete Research***, 33, 1681–1686, (2003).

Bideci, A., Bideci, Ö., S., "Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", ***Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, 8, 69-76, (2008)

Bims Sanayiciler Derneği, "Türkiye Odalar ve Borsalar Toprak Sanayi Meclisi Bims (Pomza) Alt Sektör Raporu", ***Bims Sanayiciler Derneği, Ankara,*** 2-30, (2006)

Binici, H., Aksogan, O., Shah, T., "Investigation Of fibre Reinforced Mud Brick As A Building Material", ***Construction and Building Materials,*** 19, 313–318, (2005)
Binici, H., Temiz, H., Aksoğan, O., Ulusoy, A., "Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomza Katkılı Tuğlaların Mühendislik Özellikleri", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** Cilt 24, No 3, 485-498, (2009)

BS 6073, "Part 1: precast concrete masonry units, Part 1. Specification for precast concrete masonry units", British Standards Institution, (1981)

Chidiac, S., E., and Federico, L., M.," Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick", ***Canadian Journal of Civil Engineering***, 34(11), 1458–1466, (2007)

Cultrone, G., and Sebastián, E., "Fly Ash Addition in Clayey Materials to Improve the Quality of Solid Bricks", ***Construction and Building Materials,*** 23, 1178–1184, (2009)

Çağlayan, M., Kahriman, A., "Alternatif Beton Agregası Olarak; "POMZA"ve Kent Mobilyalarında Kullanılabilirliği", ***III Ulusal Kırma Taş Sempozyumu,*** TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Jeoloji Mühendisleri İstanbul Şubesi, Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği, Türkiye Hazır Beton Birliği, Agrega Üreticileri Birliği, İstanbul, 285, 286, (2003)

Çiçek, T., and Tanrıverdi, M., "Lime Based Steam Autoclaved Fy Ash Bricks", ***Construction and Building Materials***, 21, 1295–1300, (2007)

Değirmenci, N., "Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products", ***Construction and Building Materials***, 22, 1857–1862, (2008a)

Değirmenci, N., "Fosfojips Kalsinasyonunun Fosfojips-Uçucu Kül Karışımlarının Basınç Dayanımlarına Etkisi", ***Teknik Dergi***, sayı 4, 610-618, (2008b)

Değirmenci, N., "Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması", ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,*** 18(3), 505-515 (2005)

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Taş Ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Refrakter)", ***Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), ISBN 975–19–2811-7, Ankara,*** 5-21, (2001)

Erdoğan, Y., "Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması ", Doktora Tezi, ***Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Adana, 5-139, (2007)

Fuller, W and Thompson, S. E, "The laws of proportioning concrete", ***Transactions of the American Society of Civil Engineers,*** 67-143, (1907).

Garg, M., Singh, M., and Kumar, R., "Some Aspects of The Durability of A Phosphogypsum-Lime-Fly Ash Binder", ***Construction and Building Materials***, 10, 273-279, (1996)

Ghosal, S., Self, S., A., "Particle size-density relation and cenosphere content of coal fly ash", ***Fuel***, 74(4), 522-529, (1995)

Görhan, G., Demir, İ., Başpınar, M., S., ve Kahraman, E., "Borik Asit Katkılı Cephe Kaplama Tuğla Özelliklerine Pişirme Sıcaklığının Etkisi", 4***. Ulusal Çatı Ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme Ve Teknolojiler Sempozyumu***, ÇATIDER(Çatı Sanayici ve İş Adamları Derneği), İstanbul, 66, (2008)

Güner, M.,S., ve Süme, V., "Yapı Malzemesi ve Beton", ***Akif Yayınevi,*** 236-238, (2000)

Katrancı, A., Türkmen, İ., "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kuruma Rötresi Üzerine Farklı Kür Şartlarının Ve Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkileri", ***II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi***, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Araştırma Görevlileri Konseyi, İstanbul, 351-360, (2005)

Kızgut, S., Çuhadaroğlu, D., Çolak, K., "Çatalağzı Termik Santralı Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması", ***Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi***, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 81-85, (2001)

Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T., "Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları", ***2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,*** TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, 100-102, (1997)

Kumar, S., "Fly Ash-Lime-Phosphogypsum Cementitious Binder: A New Trend in Bricks", ***Materials and Structures***, 33, 59-64, (2000)

Kumar, S., "Utilisation of FaL-G Bricks and Hollow Blocks in Buildings", ***Indian Concrete Journal,*** 75, 463-467, (2001)

Lanzo´n, M., Garcı´a-Ruiz, P., A., "Lightweight cement mortars: Advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability", ***Construction and Building Materials***, 22, 1798–1806, (2008)

Lingling, X, Wei, G., Tao, W., Nanru, Y., "Study On fired Bricks With Replacing Clay By fly Ash İn High Volume Ratio", ***Construction and Building Materials,*** 19, 243–247, (2005)

Nguong, N., C., "Calcination of Gypsum Plasterboard under Fire Exposure", Yüksek Lisans Tezi, ***University of Canterbury,*** Christchurch, New Zealand, 1-6, (2004)

Özbayoğlu, G., Atalay, Ü., Hiçyıtlmaz, C., "Kromit Konsantresinin Pilot Çapta Briketlenmesi", ***Türkiye Madencilik Bilim Teknik 10. Kongresi***, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 193-202, (1987)

Özkul, H., ve Koral, S., "Afşin-Elbistan Uçucu Küllerinin Tuğla Blok Elemanı Üretiminde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması", ***Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu***, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 151-160, (1995)

Sargın, H., S., "Gypsum and Gypsum Products: Production Processes and Uses of Gypsum Products", Yüksek Lisans Tezi, ***Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1-135, (1996)

Serin, G., "Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Isparta, 24-48, (1999)

Singh, M., and Garg, M., "Phosphogypsum-Fly Ash Cementitious Binder-Its Hydration And Strength Development", ***Cement and Concrete Research***, 25, 752-758, (1995)

Şimşek, O., "Yapı Malzemeleri II", ***Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.,*** 103-104, (2003)

Taşdemir, C., Ertokat, N., "Gazbetonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Değerlendirme", ***I. Ulusal Malzeme Kongresi ve Sergisi***, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul, 425-437, (2002)

Tiwari, V., Shukla, A., Bose, A., "Acoustic properties of cenosphere reinforced cement and asphalt concrete", ***Applied Acoustics***, 65, 263–275, (2004)

Topçu, İ., B., Işıkdağ, B., "Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite", ***Building and Environment***, 42, 3540–3546, (2007)

Topçu, İ., B., Işıkdağ, B., "Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete", ***journal of materials processing technology***, 204, 34-38, (2008)

TS EN 197-1, "Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Ankara, (2002)

TS EN 459-1, "Yapı Kireci-Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Ankara, (2005)

TS EN 520, "Alçı Levhalar - Tarifler, Gerekler Ve Deney Metotları", Ankara, (2006)

TS EN 1015-11, "Kagir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini", (2000)

TS 3323, "Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi", Ankara, (1979)

TS EN 12504-4, "Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini", Ankara, (2004)

TS EN ISO 8990, "Isı Yalıtımı- Kararlı Durum Isı İletim Özelliklerinin Tayini-Kalibre Edilmiş ve Mahfazalı Sıcak Kutu", Ankara, (2002)

Turgut, P., Algin, H., M., "Limestone Dust And Wood Sawdust As Brick Material", ***Building and Environment***, 42, 3399–3403, (2007)

Turgut, P., "Limestone Dust And Glass Powder Wastes As New Brick Material", ***Materials and Structures***, 41, 805–813, (2008)

Turgut, P., Yahlizade, E., S., "Research into Concrete Blocks With Waste Glass", ***International Journal of Environmental Science and Engineering***, 1(4), 202–208, (2009)

Ünverdi, A., "Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Eskişehir, 7, (2006)

Wikipedia,“Alçıpan”[online],http://tr.wikipedia.org/wiki/Alçıpan (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2009)

Wikipedia, “Gypsum”[online], http://en.wikipedia.org/wiki/Gypsum (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2009)

Yıldırım, T., “Gazbeton Sektör Profil Araştırması”, ***İstanbul Ticaret Odası***, 3-5, (2002)

Yılmazer, S., Özdeniz, M., B., “The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates”, ***Building and Environment***, 40, 311–318, (2005)

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2007 yılında tamamladı. 2008 bahar döneminde Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı ve tezini 2010 yılı Haziran ayında tamamladı.