

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SENOSFER VE BİMS AGREGALI, ÇİMENTOLU HAFİF  
KOMPOZİTLERİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yasin GÜDELEK**

**Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fehim FINDIK**  
**Ortak Danışman : Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ


SENOSFER VE BİMS AGREGALI, ÇİMENTOLU HAFİF  
KOMPOZİTLERİN ARAŞTIRILMASI


YÜKSEK LİSANS TEZİ

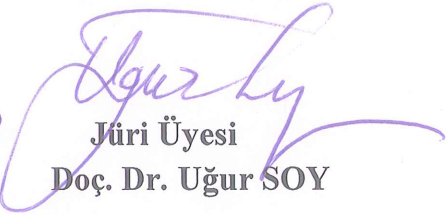
Yasin GÜDELEK

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

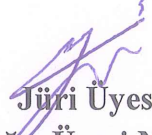
Bu tez 24/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/ oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Jüri Başkanı  
Prof. Dr. Fehim FINDIK

  
Jüri Üyesi  
Doç. Dr. Taner YILDIRIM

  
Jüri Üyesi  
Doç. Dr. Uğur SOY

  
Jüri Üyesi  
Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN

  
Jüri Üyesi  
Dr. Öğr. Üyesi Nuri ERGİN

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yasin GÜDELEK

24/05/2019

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocalarım Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Fehim FINDIK'a, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve destekleyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER .....	2
2.1. Çimento .....	2
2.1.1. Çimentonun tanımı.....	2
2.1.2. Çimentonun tarihi .....	3
2.1.3. Dünyada çimento sektörüne bakış.....	4
2.1.4. Türkiye çimento sektörüne bakış.....	4
2.1.5.Çimento hammaddeleri.....	5
2.1.5.1. Kil.....	5
2.1.5.2.Kalker.....	6
2.1.5.3.Marn.....	7
2.1.6.Katkı maddeleri.....	8
2.1.6.1.Puzolonik maddeler.....	8
2.1.6.2.Demir cevheri.....	9
2.1.6.3.Doğal alçı (jips).....	9

2.1.6.4.Suni alçı.....	11
2.1.7.Çimento üretim aşamaları.....	12
2.2.Senosfer.....	13
2.2.1.Senosferin tanımı ve sınıflandırılması.....	13
2.2.2.Senosferlerin fiziksel özellikleri.....	13
2.2.3.Senosferlerin kimyasal özellikleri.....	14
2.2.4.Senosferin avantajları.....	14
2.2.5.Senosferin kullanım alanları.....	15
2.2.6.Senosferin emniyetliyi.....	16
2.3.Pomza (Bims).....	16
2.3.1.Pomzanın (bimsin) tanımı şekli ve sınıflandırılması.....	16
2.3.2. Pomzanın (bimsin) oluşumu.....	18
2.3.3. Pomzanın (bimsin) özellikleri.....	19
2.3.3.1. Pomzanın (bimsin) fiziksel özellikleri.....	19
2.3.3.2. Pomzanın (bimsin) kimyasal özellikleri.....	20
2.3.4. Pomzanın (bimsin) Türkiye'deki rezervleri.....	21
2.3.5. Pomzanın (bimsin) kullanım alanları.....	22
BÖLÜM 3.	
KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	25
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD.....	29
4.1.Kullanılan Malzemeler.....	29
4.1.1.Çimento.....	29
4.1.2.Bims.....	30
4.1.3.Senosfer.....	30
4.2.Deney Numunelerinin Üretimi.....	32
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER.....	34
5.1.Kuru Birim Ağırlık Ve Su Emme.....	34
5.2.Eğilme Ve Basınç Dayanım Deneyleri.....	37

5.2.1.Eğilme dayanımı.....	37
5.2.2. Basınç dayanımı.....	38
5.3.Kılcal Su Emme.....	40
5.4.Sıcaklığa Dayanıklılık.....	43
5.4.1.Ağırlık kaybı.....	44
5.4.2. Basınç dayanım kaybı.....	47
5.5.Isı Yalıtımı.....	50

## BÖLÜM 6

SONUÇLAR.....	55
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A.Ş	: Anonim Şirketi
DYK	: Doygun kuru yüzey
N	: Newton
T.A.Ş	: Ticaret Anonim Şirketi
MPa	: Megapaskal
Kg	: Kilogram
Kj	: Kilojoule
%	: Yüzde



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Çimento üretim akış diyagramı.....	13
Şekil 2. 2. Pomzanın sembolük görünümü .....	17
Şekil 2. 3. Bazık pomzanın görünümü .....	17
Şekil 2. 4. Asidik pomzanın sembolik görünümü .....	18
Şekil 2. 5. Pomzanın oluşum evreleri .....	19
Şekil 2 .6.Türkiye'deki pomza yatakları .....	22
Şekil 3. 1. (a) siklon olmayan numunenin yapısı ve de (b) zengin siklon içeren asfalt numunenin yapısı .....	27
Şekil 4. 1. Senosferin bims agregasının ve bazı numunelerin granülometri eğrisi.....	31
Şekil 4. 2. Harçların karıştırıldığı mikser .....	32
Şekil 5. 1. Numunelerin kuru birim ağırlık değerleri.....	35
Şekil 5. 2. Numunelerin su emme değerleri.....	36
Şekil 5. 3. Numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme değerlerinin ilişkisi.....	36
Şekil 5. 4. Numunelerin eğilme dayanımları .....	38
Şekil 5. 5. Numunelerin basınç dayanım grafiği.....	39
Şekil 5. 6. Basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	40
Şekil 5. 7. 250 dozluk numunelerin kılcal su emme değerleri .....	42
Şekil 5. 8. 275 dozluk numunelerin kılcal su emme değerleri .....	42
Şekil 5. 9. 300 dozluk numunelerin kılcal su emme değerleri .....	43
Şekil 5. 10. PROTHERM plf 110/30 markalı kamara fırını .....	44
Şekil 5. 11. 250 dozluk numunelerin ağırlık kaybı miktarı .....	46
Şekil 5. 12. 275 dozluk numunelerin ağırlık kaybı miktarı .....	46
Şekil 5. 13. 300 dozluk numunelerin ağırlık kaybı miktarı .....	47
Şekil 5. 14. 250 dozluk numunelerin dayanım kaybı grafiği .....	49
Şekil 5. 15. 275 dozluk numunelerin dayanım kaybı grafiği .....	49
Şekil 5. 16. 300 dozluk numunelerin dayanım kaybı grafiği .....	50
Şekil 5. 17. Sıcak plaka yöntemine göre çalışan cihaz .....	51

Şekil 5. 18. Isıl iletkenlik katsayısının çimento dozajı ve numune tipine bağlı olarak değişimi.....	52
Şekil 5. 19. 250 doz çimento kullanımı için ısıl iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	53
Şekil 5. 20. 275 doz çimento kullanımı için ısıl iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	53
Şekil 5. 21. 300 doz çimento kullanımı için ısıl iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	54



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması.....	6
Tablo 2.2. Kristallerin sınıflandırılması.....	7
Tablo 2.3. İhtiva ettikleri orana göre kayaç çeşitleri.....	7
Tablo 2.4. Türkiye 'deki alçı taşı oluşumlarının bölgelere göre dağılımı .....	10
Tablo 2.5. Doğal alçının kimyasal sonuçları.....	10
Tablo 2.6. Suni alçının kimyasal sonuçları .....	11
Tablo 2.7. Senosferin kimyasal bileşimi .....	14
Tablo 2.8. Bimsin kimyasal bileşimi.....	20
Tablo 2.9. Asidik ve bazik bimsin kimyasal bileşimi .....	21
Tablo 4.1. Çimentonun kimyasal özellikleri .....	29
Tablo 4.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri .....	30
Tablo 4.3. Bimsin kimyasal bileşimi.....	30
Tablo 4.4. Senosferin kimyasal bileşimi .....	31
Tablo 4.5. Karışım dizaynları.....	33
Tablo 5.1. Karışım dizaynların kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri .....	35
Tablo 5.2. 250 dozluk karışım eğilme dayanımı.....	37
Tablo 5.3. Numunelerin basınç dayanımı .....	39
Tablo 5.4. Kılcal su emme değerleri .....	41
Tablo 5.5. Ağırlık kaybı miktarı değerleri .....	45
Tablo 5.6. Dayanım kaybı miktarı değerleri .....	48
Tablo 5.7. Numunelerin tiplerine göre ısı iletkenlik değerleri.....	52

# SENOSFER VE BİMS AGREGALI, ÇİMENTOLU HAFİF KOMPOZİTLERİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Uçucu küller, senosfer diye bilinen mikro baloncuklar bulundurur. Büyük ölçüde alümina ve silis içeren hava ve gazlarla dolu içi boş ve hafif bir küredir. Sentetik içi boş kürelerle de aynı özelliklere sahiptirler. Senosferler, oyuk seramik küre, cam boncuk ve de mikro küreler diye adlandırılırlar. Kontrollü boyut dağılımı, eşsiz küresel şekil kombinasyonu, iyi termal ve yalıtım, sıkıştırmadaki göreceli güç ve dielektrik özelliklerinden dolayı birçok uygulamada ideal malzemelerdir. Bu çalışmada atıkların kullanımı ile doğal kaynakların korunumu, atık madde ve yerli doğal hammaddeler kullanılarak hafif duvar kompozit yapı malzemesi üretim prosesinin geliştirilmesi ve söz konusu malzemenin yüksek sıcaklık direncine sahip olması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda yapılacak olan tez kapsamında bağlayıcı olarak çimento ile agrega ve dolgu malzemesi olarak bims agregası ve termik santral atığı yenilikçi bir hammadde olan senosfer kullanılmıştır. Senosfer ve bims agregası ile kullanılacak farklı çimento kombinasyonu ile kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Fiziksel olarak; birim ağırlık, su emme ve kılcallık, mekanik olarak; eğilme dayanımı, basınç dayanımı testleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Senosfer, Bims Agregası, Çimento, Hafif Kompozit, fiziksel ve mekanik özellikler.

# **INVESTIGATION OF CEMENT-BASED LIGHTWEIGHT COMPOSITE INCLUDING SENOSPHERE AND PUMICE AS AGGREGATE**

## **SUMMARY**

Fly ash contains micro bubbles, known as the senosphere. Senosphere, containing a large proportion of silica and alumina, is an inert hollow sphere, and the senosphere has the same properties as synthetic hollow spheres. It is an ideal material in many applications thanks to unique spherical shape combination, controlled size distribution, relative high power in compression, good thermal insulation and dielectric properties. In this study; It is aimed to develop the production process of lightweight wall composite building material by using waste, conservation of natural resources, waste materials and domestic natural raw materials. In this direction, cement as binder, pumice and an innovative raw material, thermal power plant waste senosphere as aggregate and filler material were used. Composite production was realized by using cement combination with Senosphere and bims aggregate. Unit weight, water absorption and capillarity test as physical, bending strength, compressive strength tests as mechanical were performed.

Keywords: Senosphere, Pumice, Cement, Lightweight Composite, physical and mechanical properties.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ**

Türkiye'nin temel enerji kaynağını oluşturan düşük ısı değerli linyit, termik santral kazanlarında küçük tane boyutlarına gelince yakılmaktadır. Yakılma sonucunda da kömürlerden inorganik katı artıklar olan uçucu küller elde edilir. Bu atıkların partikül boyutları 1 – 200 µm arasında olmaktadır. Toz kömürün yakılması esnasında (yaklaşık 1200 °C'de) baca gazları ile sürüklenen ve hızlı bir biçimde soğurken elektrofiltreler yardımı ile bacalarda tutulan ve genellikle boyutları 100 µm'den daha ufak olan uçucu kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacına bağlı olarak da artmakta olan kömür tüketimi, kömürün yanması sırasında atık olarak elde edilen kül miktarının da artmasına aynı zamanda neden olmaktadır (Aruntas 2006;Yazıcı, 2004).

Termik santrallerde üretilen enerji kaynağı elektriğin yanında aynı zaman da yüksek miktarda yan ürün olarak uçucu kül de elde edilmektedir. Bu uçucu küllerin taşınması, atılması ve depo edilmesi her zaman sorunlara neden olmakta en önemlilerinden biri çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ucuz bir madde kaynağı olarak kullanmak ve de çevre kirliliğine önlemek amacıyla değişik alanlarda uçucu küller değerlendirmeye alınır. Çalışmalar bu küllerin tuğla, çimento, geoteknik, beton uygulamalarda ve hafif agrega yapımında kullanılabileceğini ortaya konulmuştur (Özdemir, 2001).

Bu çalışmada da senosfer atığının kullanılması ile çevre kirliliğinin önlenmesi ve doğal kaynakların korunması amaçlanmıştır. Aynı zamanda hafif duvar kompozit yapı malzemesi üretim prosesinin geliştirilmesi ve söz konusu malzemenin yüksek sıcaklık direncine sahip olması amaçlanmaktadır.

## **BÖLÜM 2.GENEL BİLGİLER**

### **2.1.Çimento**

#### **2.1.1.Çimentonun tanımı**

Çimento; suda ve havada sertleşen ve sertleştikten sonra su ile havanın etkisiyle çözülmeyen hidrolik bir bağlayıcı olarak da tanımlanır. Doğal kalker taşlarının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki yapı malzemesidir (Bali, 2001).

Latinedeki “COMETUM” kelimesinden Fransızca’ ya “CEMENT” Almanca’ ya “ZEMENT” olarak geçmiş, Türkçe’ ye de kelime olarak İtalyanca’ da ki “ÇİMENTO” kelimesinden geldiği bilinmektedir. Türk Dil Kurumu tarafından kabul edilmiştir. Çimento % 76 – 78  $\text{CaCO}_3$  ve geri kalan kısmının ise kilden meydana gelen bir karışımın 1400 °C ile 1500°C' de ısıtılması ile meydana gelmektedir. Çimentonun ilkel hammaddesi olan kalker taşı çimentonun % 65' ini teşkil eden CaO' yu, kil ise diğer bileşenleri olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ' ün meydana gelmesini sağlamaktadır. 1.000°C' ye kadar kireçtaşı,  $\text{CO}_2$ ' yi verir ve geriye kalan kalsiyum oksitdir. Meydana gelen bu kireç hammaddeleri, diğer maddeler ile reaksiyona girer ve böylece kalsiyum silikatlar ve kalsiyum alüminatlar teşekkül etmiş olur. Bu esnada maddenin rengi sararır, artık bağlayıcı özellikler kazanmaya başlar (A.Ç.S.Teknik Yayını 2002).

Sıcaklık 1200 °C’ nin üstüne çıktığı vakit renk değişmesi olur ve grileşir. 1350 °C’ de sinterleşme ve yüzeysel erime başlamaktadır. Bu şekilde madde topaklanır ve sertleşmiş olur. 1400 °C ile 1500 °C' de kuvvetlenen bu durum sonucu meydana gelen kalsiyuma alüminoferitlerde takviye edilir. Bu şekilde klinker meydana gelmiş olur. Yani klinker öğütülmüş kalkerle kil karışımının 1400 °C ile 1500 °C arasında pişirilmesinden elde

edilen topaklanmış bir kitle olarak tanımlanır. Sonradan bu klinker içerisinde % 4 oranında alçı taşı eklenir un kıvamında öğütülür en son olarak meydana gelmiş çimento paketlenerek piyasaya verilir (Bali, 2001).

### **2.1.2. Çimentonun tarihi**

Çimentolu malzemeler Dünya’da en yaygın kullanımı olan malzemelerin arasındadır. İnşaat sektöründe çimentodan üretilen harçlar kolay bir şekilde şekillendirilebildiğinden hemen her yerde kullanılmaktadır (Rodrigues 2011). Harçlar agregalar ve dolgu maddeleri, bağlayıcılar ve gerektiğinde katkı maddelerinden oluşturulmaktadır (Fernandes; Silva; Ferreira ;Labrincha 2005).

Harçlarda hafif agregaların kullanımı gündeme geldiğinde mekanik özelliklerden çok yalıtımsal değer ve hafiflik dikkate alınmaktadır. Genleştirilmiş perlit, taban külü ve bims gibi agregaların kullanımı ile hafif ürünler elde etmek ve bu ürünlerden ısı izolasyonu elde etmek mümkündür (Yildirim; Kiraz, 2013). Ayrıca Türkiye 10 farklı tipte 3 Milyar m<sup>3</sup> lük bims agregası rezervine de sahiptir (Turhan; Gündüz 2008).

Perlit ve bims; iç boşluklarının fazla olmasından dolayı; hafiflik, ısı yalıtımı ve yanmazlık yönleriyle çok tercih edilebilecek, enerji etkinliğini arttırabilen malzemelerdir ( Keskin; Yıldırım 2016; Zukowski; Haese, 2010; Sariisik 2012). Bu malzemeler ile Dünya’da üretilmiş olan pek çok hafif beton, yalıtımsal duvar blokları ve levhaları, şaplar ve sıvalar mevcuttur (Yüksek 2015; Ochs, Heidemann, Müller-Steinhagen 2008; Doğan-Sağlamtimur; Güven; Bilgil 2018).

Çimentodan önceki zamanlarda kullanılan en değerli yapı malzemesi kireç taşı ve de alçı olarak bilinmektedir. Dünyada bugün bağlayıcı yapı malzemesinin en önemlisi kabul edilen çimento ilk kez İngilizler tarafından üretilmiş ve 1786 yılında İngiliz mühendis John Smeaton yaptığı deneyler sonucunda en iyi kirecin yumuşak, sert kalkerden elde edildiğini tespit etmiştir. Hidrolik kirecin yalnızca killi kalkerden elde edileceğini bulmuştur (Çimhol A.Ş., 1989).



Sontwick İngiltere’ de 1810 yılında Edgar Dobs kil ile kireçtaşından bir çimento imal etmiş ve 1874 yılında Joseph Aspdin tarafından İngiltere’ de Portland adasındaki tabii kireç taşına benzemesi nedeniyle Portland ismini verdiği bu taşın suni olarak elde edilebileceğini de anlaşılmıştır. 1845 yılında I.C. Johnson tarafından “Portland Çimentosu” ismi ile piyasaya çıkmıştır. İlk Portland Çimentoları da tıpkı sönmemiş kireç yapımında olduğu gibi dik fırınlarda yapılmaktaymış. Aynı zaman da 1883 yılında yüksek fırın cürufu klinker üretiminde hammadde olarak kullanılmaktaymış. 1892 yılında bugünkü anlamda ilk cürufu çimento verilmektedir. 1919 yılında Portland Çimentosunun üstünlüğü kaldırılmıştır (A.Ç.S.Teknik Yayını 2002).

### **2.1.3. Dünyada çimento sektörüne bakış**

Çimentonun endüstriyel üretime geçişi olarak bilinen ilk patent 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından alınmış ve 1850 yılında İngiltere’ de 4 adet çimento fabrikası kurulmuş olarak bilinmektedir. Bu tarihten sonra Almanya ve Fransa’ da ilk çimento fabrikaları kurulmuş aynı zaman da 1870’ den itibaren ABD’ de çimento endüstriyel çapta üretilmeye başlanmıştır (A.Ç.S.Teknik Yayını 2002).

Endüstriyel olarak da 1893 yılında itibaren Avrupa’ da döner fırınlar kullanılmaya başlanmıştır. 1903 yılında İngiltere, ABD’ den ilk döner fırın ithali yapılmıştır. Fransa’ da 1830 yılında A. Pavin de Lafarge ve J. Bied tarafından ilk devasal Portland çimento fabrikası kurulmuştur. Dünya’da çimento üretimi 2000 yılı sonu itibari ile 1.23 milyar ton civarındadır. Çin yıllık üretim miktarı ile birinci sırada yer almaktadır. Türkiye’ nin dünya üretimindeki olan yeri % 2-3 civarı olarak bilinmektedir (Çimhol A.Ş., 1989).

### **2.1.4. Türkiye çimento sektörüne bakış**

Dünyada çimento sektöründe satış 1878 yılında başlamaktadır. Türkiye’ nin çimento sektörü ile uğraşması ise 1911 yılında özel sektör girişimi ile oluşmuştur. Fabrika Kocaeli’de 20.000 ton/yıl kapasiteli olarak Gebze’ de kurulmuş olarak bilinmektedir. (Aslan Çimento) 1913 yılında Eskişehir Çimento Fabrikası 20.000 ton/yıl üretim kapasiteyle, 1926 yılında Bakırköy Çimento Fabrikası (Kent Çimento) 14.000 ton/yıl

üretim kapasiteyle, 1928 yılında Ankara Çimento ve 1929 yılında Zeytinburnu Çimento 40.000 ton/yıl üretim kapasiteyle kurulmuş olduğu bilinmektedir.

1950'li senesinde Sivas ve Ankara illerindeki fabrikalarda 515.000 ton çimento üretilmiş.1950'de çimento tüketimi kişi başına 25 kg olmuş ve Türkiye Çimento ve Toprak Sanayi T.A.Ş. bir Kamu İktisadi Teşebbüsü olarak 50 milyon TL sermayeyle Türkiye'nin değişik bölgelerinde çimento üretimine başlamak üzere kurulmuştur. Yüksek talebin artmasıyla ve minimum taşıma maliyetiyle elde edilecek şekilde de üretime devam etmiştir. (Çimhol A.Ş., 1989)

1988 senesinde çimento üretimindeki yükseliş % 3,2 olup aynı zamanda 22,70 milyon tona ulaşmıştır. 1989 yılında üretim % 5 artarak 23.80 milyon ton olmasına rağmen tüketim % 1,6 azalışla 23.40 milyon tona ulaşmıştır. 1992 yılında Türkiye' de üretim 28.60 milyon tona ulaşarak bir önceki yıla göre % 8,9 artış göstermiştir.

2001 yılında Türkiye' de çimento üretiminin 30 milyon tonken 2005 senesinde ise 42 milyon tona, 2008 yılında 57 milyon tona ulaşmış 2009 yılı sonu itibariyle 60 milyon tona ulaşmış olduğu bilinmektedir (Bali, 2001).

## **2.1.5 Çimento hammaddeleri**

### **2.1.5.1. Kil**

Killer, silikat mineralidir ve çeşitliliklerine göre değişik katagorilere ayrılabilirler. Bu çeşitliliklerinin ilk sırasında kristal yapıları gelir. Saf olmayanlar alüminyum, kalsiyum ve demir silikattır. Saf şekline de Kaolen denilmektedir. Killer içinde kuvars, mika, su gibi yabancı maddeler de bulunabilir. Kil partikülleri sadece mikroskop altında incelenirler. Çıplak gözle görünmezler. Boyları 0,00001 mm' den daha küçüktür. Killerin ergime noktası 1150 °C – 1875 °C arasındadırlar. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması Tablo 2.1' de verilmiştir (FLS SMITH INSTITUTE, 2002).

Tablo 2.1. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması

İki Tabakalı Killer	Kaolinit Grubu	Eş Boyutlu Olanlar
		Bir Yönde Uzanmış Olanlar Kaolinit, Dikit, Halloysit
	Smektit Grubu	Montmorillonit, Bediellit
Üç Tabakalı Killer	İllit Grubu Vermikülit Grubu	İllit Vermiküllit
Dört Tabakalı Killer	Klorit Grubu	Klorit
Zincir Yapısı Olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit, Atapulgit, Paligorskit

#### 2.1.5.2. Kalker

Kimyasal bileşimlerinde en az olarak %90  $\text{CaCO}_3$  bulunan kayalara kireçtaşı ya da kalker adı verilir. Kimyasal bileşiminde %90' a kadar  $\text{CaCO}_3$ , mineralojik bileşiminde ise %90' a kadar kalsit içeren kayalar için de yerbilimciler tarafından kullanılır. Kalkerin mineralojik incelemesinde de saf halde kalsit ve de çok az miktarda aragonit kristallerinden oluştuğu görülmektedir. Aragonit ve kalsit; kalsiyum karbonatın iki farklı kristal şekli olup, teorik olarak %44  $\text{CO}_2$  ve %56  $\text{CaO}$  içerir. Fakat doğada hiçbir zaman tek olarak bulunmazlar. İkincil derecede bileşiklerin ve değişik madde içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı renkli olup, kara ve kahverengi renklerde de görülürler. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu dentritik, organik ve kimyasal materyaller ihtiva ederler. Kalkerlerin içerdikleri  $\text{CaO}$  ve  $\text{CaCO}_3$  % miktarları aynı zamanda saflıklarını göstermektedir. Buna göre kalkerleri Tablo 2.2' deki gibi sınıflamak mümkün olmaktadır (FLS SMITH INSTITUTE, 2002).

Tablo 2.2. Kalkerlerin Sınıflandırılması

Adlandırma	% CaCO <sub>3</sub>	% CaO
Çok Fazla Saf Kalkerler	> 98,5	> 55,2
Çok Saf Kalkerler	97-98,5	54,3-55,2
Orta Saf Kalkerler	93,5-97,5	52,4-54,3
Az Saf Kalkerler	85-93,5	47,6-52,4
Saf Olmayan Kalkerler	< 85	< 47,6

### 2.1.5.3.Marn

Marn; kilin ve kalkerlerin doğada % 50 – 70 oranında kalker ve % 30 – 50 oranında kil karışımından oluşmaktadır. Oluşum bakımından bütünüyle sedimanter olup, diyajenez geçirmiş ve genellikle düzenli tabakalı olarak bulunur. Marn oluşumu için aynı zaman da, daha çok orojenik ve tektonik hareketlerin durulduğu, sakin ortamlar daha uygun olmaktadır.

Çimento klinkeri genellikle ortama % 70 kalker ve % 30 kil içeren hammadde karışımının öğütülmesiyle ve daha sonralarda yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilir. Marn bu bileşime çok yakın bir özellikte bulunduğu için ideal çimento hammaddesi diyebilmekteyiz. Ayrıca kalkere göre daha yumuşak olması nedeniyle kolay üretilmekte ve kırma – öğütme sırasında enerji tüketimi düşük olmaktadır. İhtiva ettikleri CaCO<sub>3</sub> oranına göre kayaç çeşitleri Tablo 2.3.' de gösterilmektedir (KULELİ; 2009).

Tablo 2.3. İhtiva ettikleri CaCO<sub>3</sub> oranına göre kayaç çeşitleri

%CaCO <sub>3</sub> Oranı	Hammadde Adı
99 - 100	Mermer
90 - 98	Kalker
75 - 89	Kalkerli Marn
40 - 74	Marn
10 - 39	Killi Marn
2 - 9	Marnlı Kil
0 - 2	Kil

## 2.1.6. Katkı maddeleri

### 2.1.6.1. Puzolanik maddeler

Kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olmayan fakat ince tane olarak öğütüldüklerin de nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksitle tepkimeye girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan yapay veya doğal maddedir. Hemen hemen hepsi puzolanik maddelerin volkanik kökenli olup, en çok bilinenlerinden biri tüflerdir.

Puzolanın anlamı Napoli Körfezindeki Vezüv Yanardağı yakınındaki Pozzuoli' dençıkmaktadır. Almanya' da Rhenish trası ve de Bavarian trası olarak bilinen aynı türdeki materyal çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Fırınlanmış yağlı olan arduvaz, daha az olarak kullanılan diğer bir materyaldir. Başka ülkelerde volkanik kayaçlar yanında, değişik silisli sedimanter yataklar, kesinlikle kizelgur içeren oluşumlar bu materyaller kapsamındadır. Puzolanik materyallerin özelliği yüksek miktarda  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriyor olmalarıdır. Bu nedenle  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve tepkimeleri basittir ve bağlayıcı özellik gösterir.

Türkiye'de çimento sanayinde doğal puzolanik katkı maddesi olarak, bazık veya tras nitelikli volkanik işlevlerin bir ürünü olarak meydana gelen doğal cüruflar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca suni olarak elde edilen yüksek fırın cürufu veya uçucu küller de katkı maddesi olarak kullanılırlar.

Çimento fiyatlarının düşürülmesi açısından katkı maddelerinin yüksek oranda katılabilir kalitede oluşmaları önemlidir. Puzolanik aktivite değerleriyle çözünmüş kalıntı oranları eklenebilirlik oranını belirleyen faktörler olmakta, katılım oranları genelde % 10 – 30 arasında değişir. Puzolanlar, çimento üzerinde aşağıdaki maddeleri meydana getirirler (Kuleli, 2009).

- Betondaki gözenekliliği çoğaltırlar.
- Çimentonun hidratasyonu sırasında meydana gelen serbest kirece bağlanırlar.
- Çimentonun hidratasyon ısısını azaltırlar.

- Alkalilerin aksi etkisini eksiltirler.
- İçerisinde puzolan bulunanlar genleşmezler.
- Ekonomik açıdan iyidirler.

### **2.1.6.2. Demir cevheri**

Üretim esnasında fırında pişme bölgesinde arzu edilen öteklik noktayı elde edici yani ergiyici bir niteliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Pişirilen farinde demir yüzdesi çok düşük ise hammadde içine demir cevheri ilave edilir. Tabiatta olan demir cevheri manyezit, hematit, limonit ve siderittir. Çimento sektöründe hammadde içerisine hematit ve limonit ilave edilir. Siderit ile manyezit ilave edilmez (Kuleli, 2009).

### **2.1.6.3. Doğal alçı (jips)**

Doğada doğal alçı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve de anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) olmak üzere iki çeşidi bulunan ve de ticarete alçı elde edilmesine yarayan endüstriyel hammaddedir. Anhidrit (kristal susuz) birkaç ülkede sülfürik asit üretiminde kullanılırlar; bunun dışında kullanım alanı çok yaygın olmamakla beraber, son senelerde kimya endüstrisinde önem kazanmışlardır. Doğal alçı (kristal sulu), düşük derecede ısıtılınca kristal suyunun yarısından çoğunu kaybeder ve alçıya dönüşür. Ak toz halinde olan alçı, tekrar su emdiğinde sert bir kütle haline gelir ve de bu özelliğinden dolayı, bazı katkı maddeleriyle beraber geniş bir kullanıma sahiptir. Çimento üretiminde % 3-5 değerinde alçı taşı ilave edilerek klinker elde edilmiş olur. Ticari değeri olan doğal alçı % 85-95 saflıkta olup, % 5-15 lik kısmı kireçtaşı, kil mineralleri, dolomit ve de diğer evaporik çökellerden meydana gelir. Türkiye' deki alçı taşı oluşumlarının bölgelere göre değerleri Tablo 2.4' de verilmiştir. Doğal alçıdan alçı elde edilmesi dehidratasyon işlemi ile ve de aşağıdaki formüle göre oluşur:



Tablo 2.4. Türkiye'deki Alçı Taşı Oluşumlarının Bölgelere Göre Dağılımı (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001).

Bölge	Rezerv (Milyon Ton)	
	Görünür	Potansiyel
Marmara	1	2
Ege	2	6
Akdeniz		
İç Anadolu	349	3,042
Karadeniz	137	562
Doğu Anadolu	65	206
Güney Doğu Anadolu	12	104
<b>TOPLAM</b>	566	3,922

Elde edilen yarım hidratlı kalsiyum sülfat; koca kristallidir. Bunun öğütülmesiyle alçı elde edilmiş olunur. Basınç dayanımı  $560 \text{ kg/cm}^2$  ve çekme dayanımı  $66 \text{ kg/cm}^2$  olup priz süresi 15-20 dk' olarak bilinir. Aynı yarım hidrat sülfat;  $150^\circ\text{C}$  ısı ve de atmosfer basıncı altında üretilirse; alçı olarak tefrik edilen tür oluşmaktadır. Alçının basınç dayanımı,  $56 \text{ kg/cm}^2$  çekme dayanımı  $13 \text{ kg/cm}^2$ , ve priz süresi 25-35 dk' dır.

Ham doğal alçı, beyaz boya ve dolgu maddesi olarak kâğıt ve pamuklu tekstil maddelerine katılırlar. Çimento sanayinde prizlenmeyi önlemek, kömür tozlarında kül oranını çoğaltmak, nikel izabesinde eritmeyi kolaylaştırma ve bira sanayinde mayalandırma için kullanılmaktadır. Alçı, sıcak ve soğuk yalıtım malzemesi olarak da tercih edilmektedir. Ayrıca yangını geciktirme, nemi dengeleyici özellikleri ile de kullanım yerleri bulmaktadır. Ayrıca kimya sanayinde de alçıdan yararlanılır. Adana Çimento San. T.A.Ş.' de gri portland çimento üretiminde kullanılan jipssin hidrat suyu, rutubet, ve  $\text{SO}_3$  değerleri Tablo 2.5' de gösterilmiştir (Çimhol A.Ş., 1989).

Tablo 2.5. Doğal Alçının Kimyasal Sonuçları

Açıklama	% Değer
RUTUBET	1,71
HİDRAT SUYU	17,42
$\text{SO}_3$	37,46

#### 2.1.6.4. Suni alçı (FGD alçısı ya da baca alçısı)

Kömür yakılarak elektrik enerjisi üretilen Termik Santrallerde büyük orandaki kükürt oksitler hava kirlenmesindeki en önemli kirleticilerdendir. Baca gazından kükürt oksitlerini gidermeye yönelik 200' ün üzerinde proses vardır. Bu proseslerin bir kısmı teknik zorluk ve ekonomik zorluklar nedeniyle uygulanamamıştır. Bir kısmı endüstriyel ölçekte uygulanmakta, bir kısmı ise henüz uygulamalara geçmemiş olup araştırma ve geliştirme safhasındadır. Uygulanabilen proseslerin sayısı oldukça fazla olmasına karşın, ticari boyutta uygulama bulmuş proseslerin sayısı azdır. Bugün çeşitli ülkelerde bulunan Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesislerinde % 90 oranında uygulama bulmuş olan proses, baca gazının kireçtaşı çözültüsü ile yıkandığı ıslak kireçtaşı prosesleridir. Bu yöntem gerek ilk yatırımın düşük olması ve de gerekse kükürt dioksitten oluşan hava kirliliği sorunlarına çözüm bulmuş olması nedeniyle çok yüksek bir uygulamaya sahiptir.

Kireçtaşının ekonomik ve kolay bulunabilen bir madde olması bu proseslere önem vermiştir. Kireçtaşının kullanıldığı proseslerde kükürt dioksitin su tarafından absorpsiyonu sonucu  $\text{HSO}_3$ ,  $\text{SO}_3^{-2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonları, bu iyonların kireçtaşıyla tepkimesi sonucunda ise kalsiyum sülfid ve kalsiyum sülfat meydana gelir. Bu yöntemin verimli olması için çözültünün pH değerinin 4–7 olması gerektiği, bu aralığın altında çözültünün kükürt dioksit tutma özelliğinin düştüğü, üzerinde ise  $\text{SO}_3^{-2}$  oluşumunun arttığı bilinir. Yıkama kulesindeki çözültü içine hava enjekte edilerek kalsiyum sülfidin jipse dönüşmesi sağlanmaktadır. Adana Çimento San. T.A.Ş.' de suni alçı üzerinde yapılan deneyde suni alçının rutubet, hidrat suyu ve  $\text{SO}_3$  özellikleri Tablo 2.6' da gösterilmiştir (A.Ç.S.Teknik Yayını 2002).

Tablo 2.6. Suni Alçının Kimyasal Sonuçları

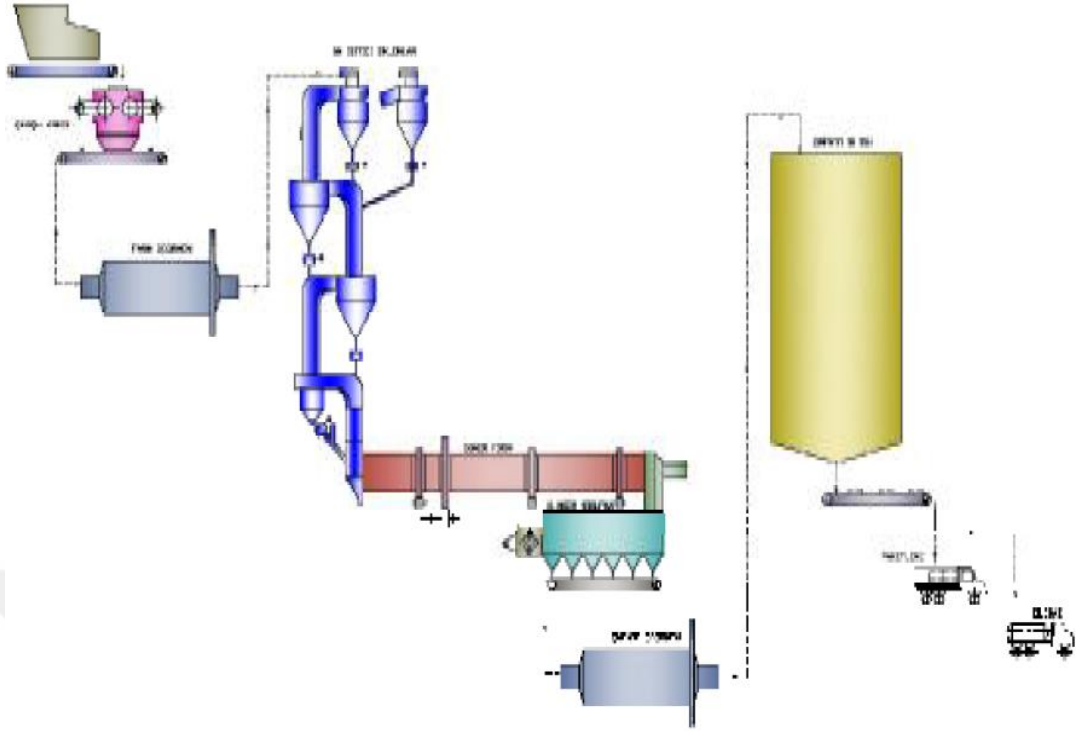
Açıklama	% Değer
RUTUBET	2,96
HİDRAT SUYU	21,08
$\text{SO}_3$	46,20



### 2.1.7. Çimento üretim aşamaları

Çimentonun hammaddesi olan kil ve kalkerin belirli miktarlarda homojen bir karışımını elde etmek için iki metot kullanılır. Bunlar yaş ve kuru yöntemdir. Günümüze geldiğimizde hammadde hazırlanmasında teknolojik gelişmelerden dolayı hammadde durumu ne olsun, doğrudan doğruya kuru yöntemin uygulanması daha doğru bulunmaktadır. Bugün bütün modern çimento üreticileri daha az yakıt sarfiyatından ötürü kuru yöntemi kullanmaktadır. Dünya çimento üretiminin % 90' ı kuru metotla sağlanmaktadır.

- Yaş Yöntem: Malzemenin yumuşak ve nem oranının % 20' den çok olması halinde bu yöntem uygulanmaktadır. Bileşim kontrolü kolay sağlanmakta ancak kuru yöntemle göre fazla enerji ve yakıt sarfiyatı olmaktadır. Yakıt sarfiyatının artmasından dolayı bugün dünyadaki çimento üretiminin sadece % 10' u yaş yöntemle yapılmaktadır. Kuru yöntemden değişik olarak şöyle uygulanmaktadır; analizler neticesinde birbirine karıştırılacak miktarları tespit edilmiş ilkel maddelerden kil önce büyük havuzlara gönderilir. Su içinde dağılması sağlanır. Daha sonra kalkerle birlikte yaş olarak değirmende öğütülmekte ve de buradan tekrar havuzlara gönderilmektedir. Bu havuzlarda karışım homojen bir hale getirilmektedir. Bundan sonraki işlemler kuru yöntemle aynıdır.
- Kuru Yöntem: Yöntem Almanların geliştirdikleri Waermeaustauscher (ısı değiştirgeçli) sistemine göre uygulanır. Waermeaustauscher yönteminde, Kalsinasyon işlemi siklonlarda olmakta ve de bunun için dört adet siklon kullanılır. Titrasyonun istenilen orana getirilmiş farin bu siklonlardan aşağı inerken, aşağıdan ve ters istikametten çıkan sıcak gazla karışır ve H<sub>2</sub>O CO<sub>2</sub> kaybederek fırına gelmiş olur. Şekil 2.1. 'de çimento üretimi akış diyagramı verilmektedir (Çimhol A.Ş. ,1989).



Şekil 2. 1. Çimento üretim akış diyagramı

## 2.2. Senosfer

### 2.2.1. Senosferlerin tanımı ve sınıflandırılması

Uçucu küller, senosfer diye bilinen mikro baloncuklar bulundurur. Büyük ölçüde alümina ve silis içeren hava ve gazlarla dolu içi boş ve hafif bir küredir. Sentetik içi boş kürelerle de aynı özelliklere sahiptirler. Senosferler, oyuk seramik küre, cam boncuk ve de mikro küreler diye adlandırılırlar. Kontrollü boyut dağılımı, eşsiz küresel şekil kombinasyonu, iyi termal ve yalıtım, sıkıştırmadaki göreceli güç ve dielektrik özelliklerinden dolayı birçok uygulamada ideal malzemelerdir (Özdemir, 2001).

### 2.2.2. Senosferin fiziksel özellikleri

- Ergiyik küreler 1000 °C’de sertleşir.
- Senosfer 1400 °C’de şekillenmiştir. Boyutu ve formasyonu silis camın yüzey geriliminden, parça sıcaklığındaki değişimlerden ve silisdeki gazların yayılma oranlarıyla denetlenir.

- Oda sıcaklığındaki iç basıncı yaklaşık 0,2 atmosferdir.
- İçindeki gaz başlıca CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> içerir.
- Oyuk küreler 1200 °C'de sinterleşmeye başlar. Genellikle 1300 °C'de bozulurlar.
- 300°C'ye ısıtıldığında bozulmalar camsı malzeme içindeki ergiyik suyun açığa çıktığını gösterir.
- Yüzen küreler sıg yerlerde toplanırlar.
- Rengi kirli beyaz, gri veya açık gridir.
- Suda pH değeri 6-8 arasındır.
- Bireysel küre yoğunlukları 0,6-0,8 gr/cc ve de bulk yoğunlukları 0,25-0,4 gr/cc
- Silis cam kabuğunun kalınlığı, çapın %10'u kadardır.
- 10-350 mikron çapındadır (Özdemir, 2001).

### 2.2.3. Senosferin kimyasal özellikleri

Senosferlerin bileşimleri çok az değişir. Başlıca bileşenleri silis, alüminyum ve oksijendir. Tablo 2.7' de senosferin kimyasal bileşimi verilmiştir (Özdemir, 2001).

Tablo 2.7. Senosferin kimyasal bileşimi

Bileşen	İçerik (%)
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	% 55-65
Alüminyum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%25-35
Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	% 1-5
Titan (TiO <sub>2</sub> )	%0,5-1,5

### 2.2.4. Senosferin avantajları

Boşluklu olması ve de hafif olması senosfere avantaj sağlamaktadır. Senosfer ağırlığı düşürdüğü gibi yoğunluğu, dayanıklılığı, kuvveti ve esnekliği artırır. Ayrıca iyi yalıtım özellikleri temin eder. Su üzerinde durabilmeyi de temin eder. Sıcaktan zarar görmeyi ve büzülmeyi önler. Küresel şekli darbeye karşı dayanımını ve sağlamlığını artırır. Yalıtım malzemesi olarak kullanırsak ısı iletimi ve ses değerini kontrol eder. Fiyatı diğer sentetik kürelerden ekonomiktir. Küre şekli nedeniyle birçok uygulamalarda

akıcılığı iyidir. Aynı zamanda doldurucu malzemenin dağılımını temin eder. Senosferin doğal özellikleri kuru ya da yaş çamur şeklinde kullanılmasını mümkün kılar. Hemen hemen çoğu solventlerden, asitten, sudan ve alkalilerden etkilenmez. Dağıtıcı veya doldurucu olarak kullanılan minerallerden % 75 daha hafiftir ve çoğu reçineden % 30 daha hafiftir. 1800°C 'yi aşan sıcaklıklara dayanıklıdır. Bu saydığımız avantajlar senosferin piyasa stratejilerini artırır. Bunun yanında senosfer çevreye zarar vermez. Senosferlerin asıl kimyasal özellikleri senosferi %100 kullanılabilir yapmaktadır (Özdemir, 2001).

### **2.2.5.Senosferin kullanım alanları**

- Enerji ve teknoloji sanayiinde: Sondaj çamuru, petrol kuyu çimentosu, patlayıcılar, öğütme malzemesi, pervane yapımında ve endüstriyel kaplama alanında.
- Otomotiv sanayiinde: Lastikler, astar boya, fren pedalları, motor parçaları, kaporta alanında, aksesuar.
- Eğlence sanayiinde: Flotasyon araçları, sörf tahtaları, golf aletleri, çimen ve bahçe dekorları, yatlarda, bowling topları, kayak
- İnşaat sanayiinde: Özel çimento, sulu harç, harç, çatı malzemesi, kaplama alanında, ses panelleri yapımında
- Plastik sanayiinde: PVC taban kaplamasında, kalıp, yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen, naylon ve polipropilen imalinde
- Seramik sanayiinde: Yalıtım malzemesi ve kaplama alanında, alüminyum çimentosu, ateş tuğlası, kiremit, refrakter malzemesi üretimlerinde (Özdemir, 2001).

### **2.2.6. Senosferin emniyetliliği**

Asil özelliklerinden dolayı tehlikeli atık sınıfına girmezler. İşlenmiş senosfer kimyasal olarak etkisiz ve de United States Environmental Agency tarafından tehlikeli atıktan muaf tutulmuştur. Bununla birlikte The Resource Conservation and Recovery Act taşımaya elverişli olarak hesaba katılır ve de tekrar kullanımları çevresel sağlık açısından uygundur. Cumbustion Product Management senosfer geliştirme ve de satışıyla ilgili birçok hizmet vermektedir. 10 yıl boyunca hızlı bir şekilde reklamı gelişmiştir. Senosferin gelecekteki kullanımı ancak hayal gücümüzle sınırlıdır. Senosfer hakkında sayılı üniversitelerde ve araştırma merkezlerinde çalışmalar devam etmektedir. Üreticiler için senosfer kullanımı çekici hale gelmiştir (Özdemir, 2001).

### **2.3.Pomza (Bims)**

#### **2.3.1. Pomzanın (bimsin) tanımı, şekli ve sınıflandırılması**

Pomza diğer bir adıyla bims kelimesi, "köpük" anlamına gelen pumeks Latince kelimesinden üretilmiştir. Türkçe'de de topuk taşı, nasır taşı, süngertaşı ve hasır taşı gibi isimlerle adlandırılır (Çiçek, 2002). Bims magmatik tek kayadır ve volkanik cam köpükten elde edilir. Bims volkanik patlamalar sonucunda oluşur. Son derece gözeneklidir. Peyzaj agregası olarak ve çeşitli endüstriyel ve tüketici ürünlerde bir aşındırıcı olarak kullanılır. Birçok örnekte yoğunlaşma derecesi yüksektir. Suyu dalabilir ve de yavaşça su geçirinceye kadar yüzebilmektedir. TSE tarafından yapılan açıklaması, birbirine sünger görünümlü, silikat esaslı, bağlantısız boşluklu, birim hacim ağırlığı 1 gr/cm<sup>3</sup>'ten kocaman, camsı doku gösteren ve de sertliği mohs skalasına göre 6 olan volkanik bir maddedir(Türk Standartları Enstitüsü 1978).Gözenekler arası bağlantısız boşluklu olduğundan dolayı, permeabilitesi düşüktür. Ses ve ısı yalıtımı oldukça fazladır. Bimsin sembolik resmi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2. Pomzanın sembolik görünümü (Baba, 2018)

Bazik ve asidik volkanik faaliyetler sonucu iki şekil pomza oluşumu vardır. Bunlar bazik ve asidik pomzadır. Bazik pomza diğer bir adı da scoriadır. Asidik pomza; beyaz, kirli beyaz renktedir ve de bazik pomzaya göre daha yaygındır. Bazik pomza ise siyahımsı ve kahverengi renktedir. Asidik pomzanın yoğunluğu  $0.5-1 \text{ gr/cm}^3$  iken, bazik pomzanın yoğunluğu  $1-2 \text{ gr/cm}^3$  olarak bilinmektedir. Bazik bimsin sembolik resmi Şekil 2.3'de, asidik bimsin görünümü Şekil 2.4'de verilmiştir.



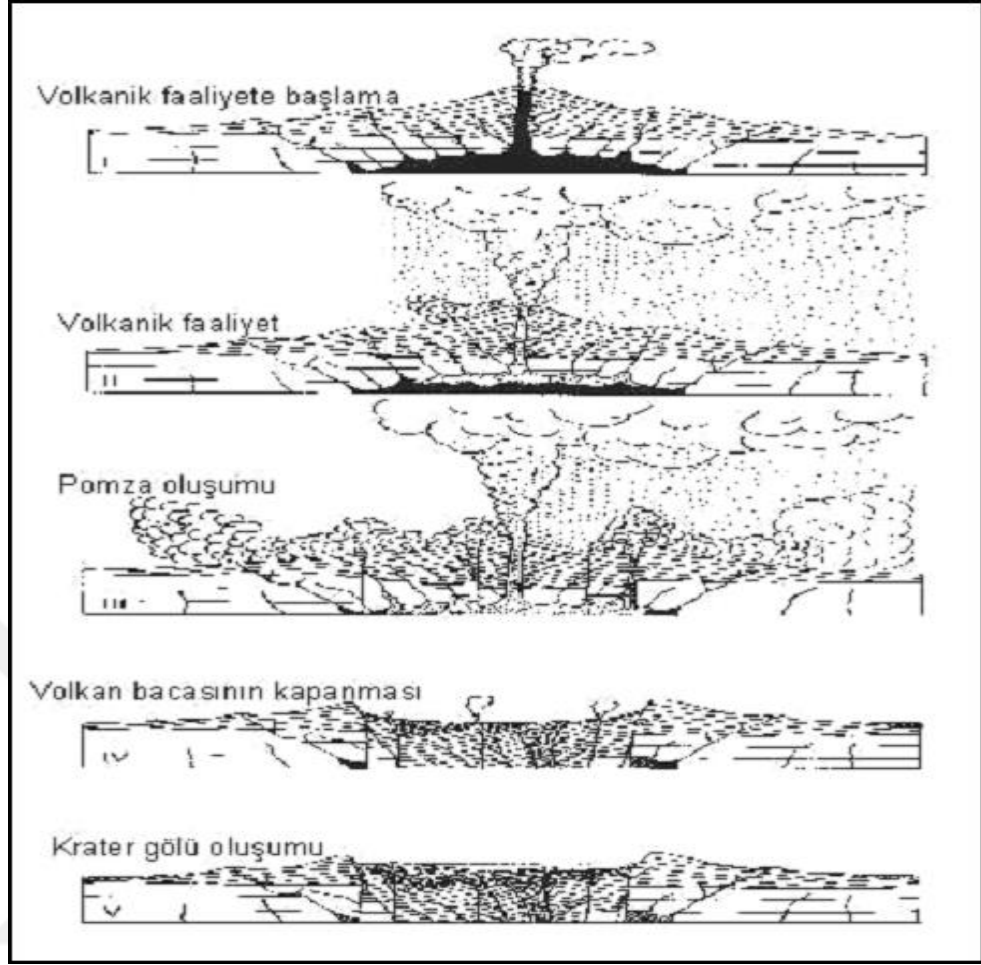
Şekil 2. 3. Bazik pomzanın görünümü (Baba, 2018)



Şekil 2. 4. Asidik pomzanın sembolik görünümü (Baba, 2018)

### **2.3.2. Pomzanın ( bimsin) oluşumu**

Pomza, suya temas eden lavla ile oluşur. Bu olaylar genellikle su yakınında ve suya yakın olan yanardağlarda görülür. Sıcak magma su ile temasa girdiğin zaman, hızlı soğutma ve de hızlı basınç düşürme lav kaynama noktasını düşürerek kabarcıklar oluşturmaktadır. Kayaçın erime noktasından düşük kaya soğuşu, kayaç suyla temasa girdikten hemen sonra bir katıya dönüştüğünde kabarcıkların içeride sıkıştığını gösterirler. Bims volkanik olduğu için bazen cam gibi olur. Kabarcıklar yarı saydam kaya kabarcıkları duvarları arasında sıkışır. Hızlı soğumadan önce lavdan gelen volkanik gazın miktarına bağlı olarak bims ve skoria oluşabilir. Pomzanın oluşumu Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Pomzanın oluşum evreleri (Baba, 2018)

Pomzanın taşınması genel olarak fırlatmayla yığılma, düşmeyle yığılma ve akmayla yığılma ile ele alınmaktadır (Çiçek 2002, Türk Standartları Enstitüsü 1978, Karagüler İstanbul).

### 2.3.3. Pomzanın (bimsin) özellikleri

#### 2.3.3.1. Pomzanın ( bimsin) fiziksel özellikleri

Kayaçların tanımlanması söz konusu olduğunda pomzanın özellikleri önemlidir. Pomza kayaçlarının özellikleri bimsin kimliğini belirlemek için önemli bir husustur. Pomzanın bazı özellikleri renk, sertlik, kırılma, parlaklık ve basınç dayanımı olarak sıralanabilmektedir. Diğer kayaçlarla karşılaştırıldığında pomza daha gözeneklidir. Yoğunluğu da  $0,25-0,3 \text{ g/cm}^3$ 'tür.



Pomzanın fiziksel özellikleri oluşumuna bağlıdır. Kayalar, ölçekte kayaları 1 ila 10 değerleri arasında Mohs Sertlik Ölçeği'nde derecelendirilir. Sertlik derecesi 1-3 olanlar yumuşak kayacıklar, 3-6 olanlar orta sertlikteki kayacıklar, 6-10 olanlar ise sert kayacıklardır. Pomza sertliği 6, basınç dayanımı  $51,2 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Bims çizgisi beyaz, yeşilimsi beyaz veya gri, kırığı düzlemlidir. Pomzanın özgül ağırlığı 2,86'dır. Pomza doğada opaktır ve tokluğu 3'tür

Pomzanın termal özellikleri jeolojide önemli rol oynamaktadır. Özgül ısı değeri, kayanın ısıya, basınca, suya vs. direnç vermesi pomzanın termal özelliklerinden bazılarıdır. Özgül ısı kapasitesi de, kaya birim kütlesi başına ısı kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Özgül ısı kapasitesi veya özgül ısı pomzanın önemli özelliklerinden biridir. Pomzanın özgül ısı kapasitesi  $0,87 \text{ kJ / Kg K}$ 'dir. Pomzanın özellikleri ayrıca pomzanın su, ısı, basınç, darbe vb. direncini de içermektedir. Pomzanın sunduğu direnç parametrelerin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Pomza darbelere dayanıklı, basınca dayanıklıdır.

Pomzanın porozitesi %70-85 değerindedir. Su emmesi ise %15-35 değerlerindedir. Bu değerlerin üzerine çıktığında malzemenin dona karşı dayanımı düşer ve pomzada çeşitli hasarlar oluşabilmektedir. Pomzanın en kocaman boyutunun en ufak boyutundan 3'ten büyükse, taneler şekilce hatalı sayılır (Çiçek 2002).

### 2.3.3.2. Pomzanın (bimsin) kimyasal özellikleri

Tablo 2.8. Bimsin kimyasal bileşimi (Baba, 2018)

Bileşen	İçerik(%)
SiO <sub>2</sub>	60-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	7-8
TiO <sub>2</sub>	Eser
SO <sub>3</sub>	Eser
Cl	Eser

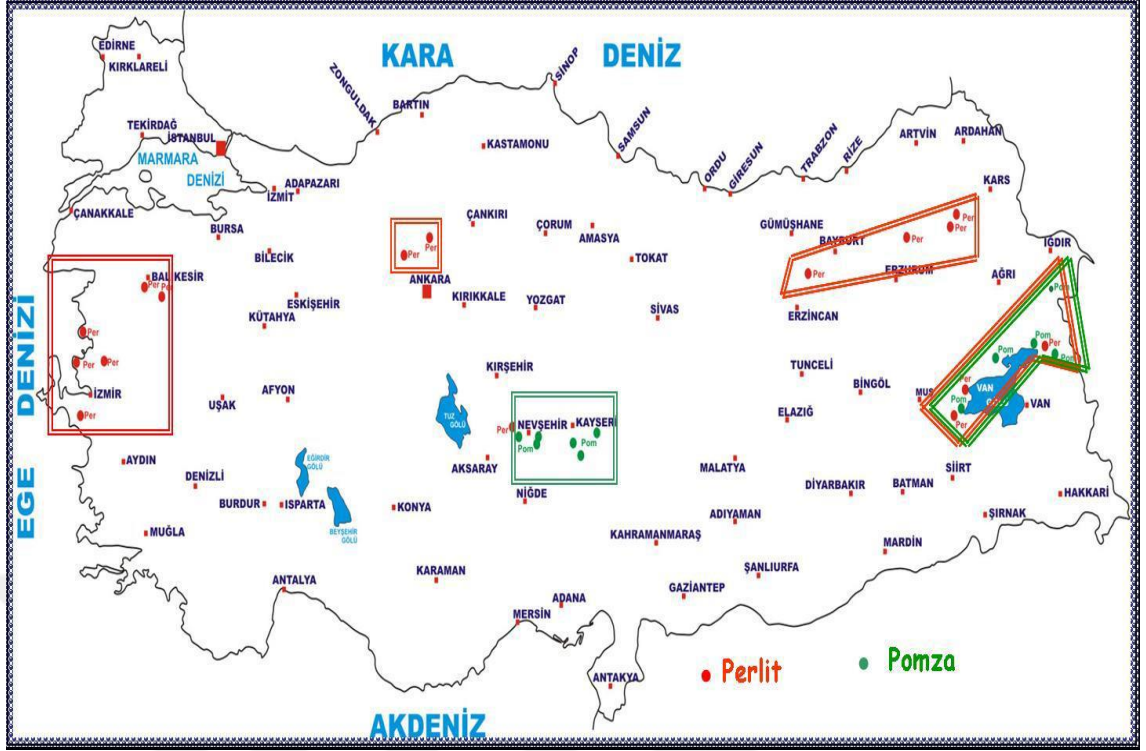
Tabloda da görüldüğü gibi pomza %75'e varan silis içeriği görülür. Silis pomzaya aşındırıcı özellik katmaktadır. Alüminyum oksit de ateşe ve ısıya yüksek derecede dayanmasını sağlamaktadır. Demir 3 oksit ise sertliğinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Doğada gözlenmekte olan asidik ve bazik pomza kimyasal bileşimi ise Tablo 2.9'da verilmiştir (Çiçek 2002).

Tablo 2.9. Asidik ve bazik bimsin kimyasal bileşimi (Baba, 2018)

Bileşen	Asidik bims(%)	Bazik bims(%)
SiO <sub>2</sub>	70	45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14	21
FeA	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	9	8
Ateş Kaybı	3	1

#### 2.3.4. Pomzanın (bimsin) Türkiye'deki rezervleri

Ülkemiz birçok endüstriyel hammadde ve de yer altı kaynakları yönünden önemli değere sahiptir. Verilere göre, Türkiye 18 milyar m<sup>3</sup> pomza- rezervinin yaklaşık %40'ına sahip olarak bilinmektedir. Ülkemizde pomza rezervleri genel olarak iç anadolu bölgesi olmakla beraber Van, Isparta, Bitlis, Nevşehir, Kayseri, Ankara, Kars ve Ağrı'da bulunmaktadır. Türkiye'deki pomza yatakları haritası Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2. 6. Türkiye'deki pomza yatakları (Baba E. 2018)

### 2.3.5. Pomza (bimsin) kullanım alanları

Bims, hammadde olarak çokça endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Kullanımı genelde, endüstriyel amacına göre ana hammadde olarak veya katkı malzemesi biçiminde olmaktadır. En çok kullanım alanı kesinlikle inşaat sektörü olarak bilinmektedir. Kolay sıvı tutması, düşük birim hacim ağırlığı, iklimlendirme özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti, mükemmel akustik özelliği ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Şuan ki zamanda bimsin kullanım alanları çok geniş olmaktadır. Ancak ana sektörü inşaat sektörü diyebiliriz. Kullanıldıkları yerlere göre kimya, tarım, tekstil, endüstri-teknoloji ve inşaat sektörü olmak üzere 5 ayrı grupta değerlendirilebilir (Yanık, 2007).

- Tarım Sektöründe Bims: Bims gelişmiş ülkelerin hemen hemen hepsinde tarımda kuraklığa çare olarak başvurulan seçeneklerden bir tanesi olmuştur. Aldığı suyu uzun müddet muhafaza ederek sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin ettiğinden yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bugün su kaynakları yetersiz olan İsrail, Suudi Arabistan, Kuveyt gibi ülkelerde, iklimin nemli olması ve sulama suyunun da aşırı buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilebilmesi için, toprağın altına belirli bir derinlikte ve de belirli bir kalınlıkta bims tabakası serilir. Böylece kaynaklanan su kaybının önüne geçilmektedir.
- Tekstil Sektöründe Bims:, Günümüzde ülkemiz endüstrisinde önemli paya sahip sektör olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında bims, aranan ve de azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biridir. Tekstil sektöründe bims kot kumaşlarının renklerinin açılması-ağartılması veya kumaşın yumuşatılması işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörde bimsin belirli fiziko-kimyasal özellikleri taşıması aranır.
- Kimya Sektöründe Bims: Bims kimya endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarım ilaçları sanayisinde taşıyıcı olarak diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak, temizlik ve deterjan sanayisinde katkı malzemesi olarak, gübre sanayisinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde, özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- İnşaat Sektöründe Bims: Bims, ülkemizde geniş anlamda inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Ülkemizde üretilen bimsin %80'i iç piyasada inşaat endüstrisinde, hafif beton agregası olarak da tüketimi yapılmaktadır. Normal çakıl ve kumun 1/3-2/3'ü kadar yoğunluğa sahip olan bims, perlitin kullanıldığı alanların genellikle tümünde kullanımı yapılmaktadır. Aynı durum bims ile yapılan betonlarda da görülür. Bims betonu normal betondan hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten tasarruf sağlar. Ve de zemin mekaniği açısından, dikkate alındığında yapı için kullanılacak inşaat demirinden yaklaşık %17-30 civarında tasarruf sağlamaktadır. Bimsin ısı iletkenlik katsayısı dikkate

alındığında, betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı iş mekânlarında kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlar. Ayrıca bimsli beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir. Evler de hafif veya yarı hafif beton kullanmakla, enerji yönünden kazanç sağlanır. Evler de kullanılacak hafif agregalı bimssin taşıyıcı betonlar ses yutuculuğu bakımından daha iyi veriler verebilmektedir. (Özkan ve Tuncer, 2001).

Bimssin inşaat sektöründe kullanım alanlarını;

- Prefabrik hafif yapı elemanları üretiminde
- Hafif yapı elemanları üretiminde
- Harç ve hafif hazır sıva üretiminde hafif beton üretiminde
- Dekoratif ve çatı kaplama elemanları üretiminde
- Döşeme ve çatı izolasyonu dolgusu olarak

5 ayrı şekilde tarif etmek mümkündür (Başpınar ve Gündüz, 2006).

Ayrıca plastik ve metal sanayiinde, mobilya sanayiinde ve cam sanayiinde de cilalamada kullanılmaktadır. Elektronik sanayiinde devre plakelerini temizlemede kullanılmaktadır. Kot pantolonların renklerinin açılması ve ağartılmasında yani kot taşlamada kullanılmaktadır (madenciyim.com; voltaş.net)

- Endüstriyel ve Teknolojik Alanlarda Bims: Kuyumculuk, cam, plastik ve metal sanayinde abrasif (aşındırıcı), elektronik devre ve çiplerin üretiminde hassas temizleme maddesi, televizyon tüpleri, yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı, asfalt kaplamalarda, yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi olarak, karayollarında; buzlanmaları kontrol altına almada, yalıtımlı hafif tavan kaplama malzemeleri gibi pek çok sektörde kullanım imkânı bulabilmektedir (Yanık, 2007).

### **BÖLÜM 3. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Bu bölümde konu ile ilgili literatür çalışması aşağıda verilmiştir.

Aybars Nejat Yıldırım(2007), bims agregası ve uçucu kül kullanarak ağırlığı çok olmayan beton üretimi ve de üretilen betonların farklı agresif ortamlarda dayanım özellikleri incelemiştir. Geliştirilen deneyler sonucunda beton dozajının ve beton yaşının da dayanım özelliklerine etkisini de incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, beton üretiminde dozaj artırımının da beton dayanımını artırdığını gözlemlemiştir. Agresif ortam şartlarına bakıldığında tuzlu suda kürlenmiş numunelerin dayanım değerleri normal şartlarda kürlenmişlere göre %12, asidik suda kürlenmiş numunelerin dayanım değerleri normal şartlarda kürlenmişlere göre %17 azaldığını gözlemlemiştir.

Vikas ve diğ. (2015), ince ve küçük agrega yerine kısmen taban külü kullanarak beton üretmiştir. Taban külünün, betonun eğilme ve de basınç dayanımlarını düşürdüğünü tespit etmiştir. En son olarak da taban külünün betonda su ihtiyacını artırdığını görmüştür.

Kılınç ve ark. (2003), yüksek mukavemete sahip hafif beton üretmeye çalışmışlardır. Agregası olarak ise bazalt pomza taşı kullanmışlardır. Çimento yerine ise %20 oranında uçucu kül, %10 oranında da silis dumanı kullanmışlardır. 150 mm çaplı 300 mm boyunda silindirik ve 100\*100\*500 mm ebatlarında numuneler hazırlamışlardır. Çalışmanın sonucunda çürüf kullanılarak hafif beton üretilebileceği kanısına varmışlardır.

Yüksel ve ark. (2006), taban külünün briket yapımının ince agregası olarak kullanılması sonucunu araştırmışlardır. Taban külü ile kumun deneysel olarak yer değiştirmesi sağlamışlardır. Numunelerde taban külünün donmaya karşı dayanıklılığı ve basınç

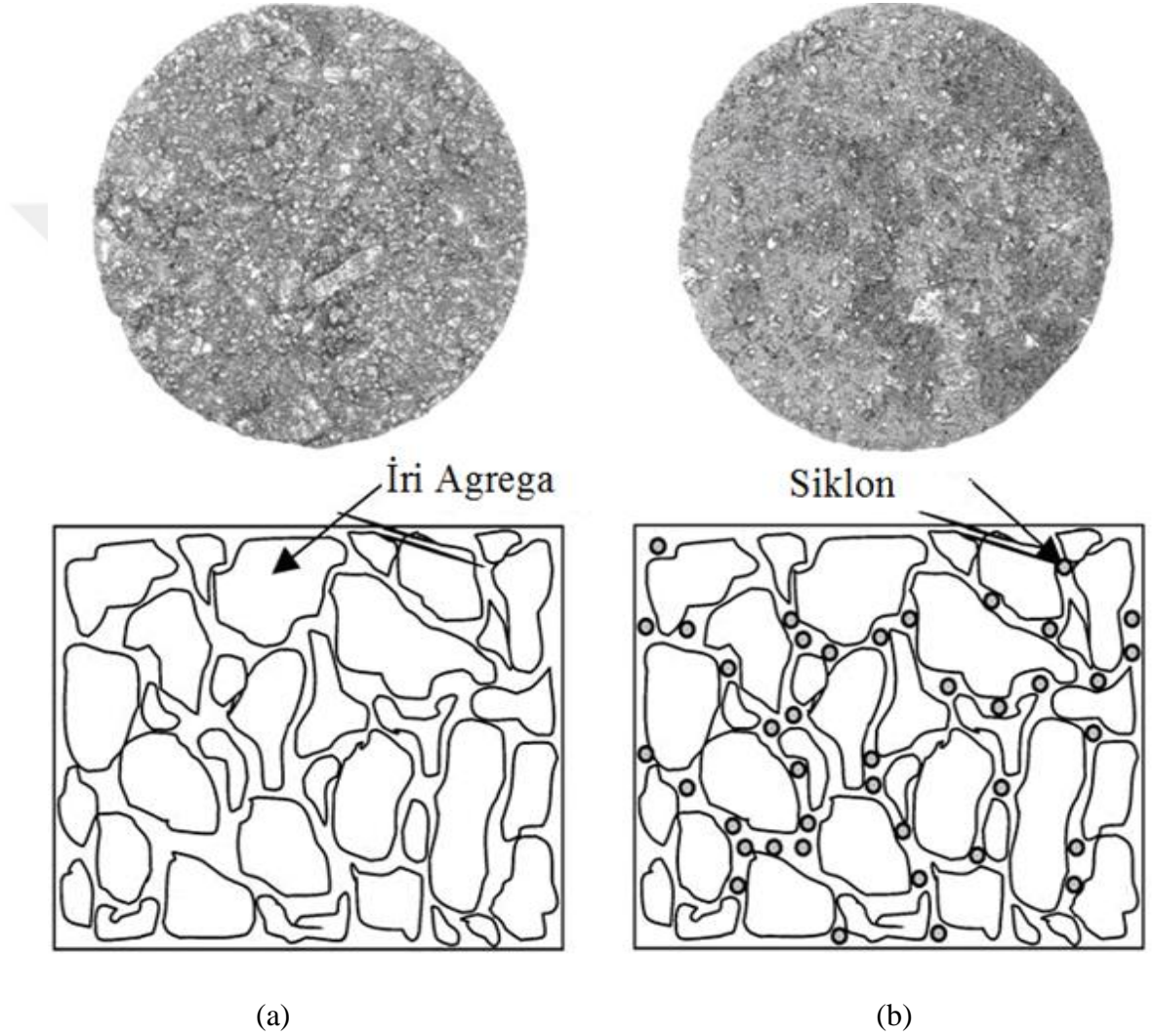
dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir. Bir diğer tespit ettikleri husus ise yapı ağırlığını düşürdüğüdür.

Özdemir (2007), deney aşamasının başlangıcından bu yana toplam üretilen 37 adet seriden ilk üretilen 9 numune çıkarılmış ve de kalan diğer 28 seri üzerinde değerlendirmeler yapılmış., Üretilen ilk 9 adet serinin kolaylıkla kırılmaları, kil oranlarının yüksek olması ve deforme olmaları nedeniyle %50 uçucu kül ve de üzeri serilere yöneltilmesine neden olmuştur. 28 adet seride oluşturulan 84 adet numune üzerinden buhar kürü uygulanmış ve de mekanik deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak kireç miktarının yapı malzemesi dayanımına etkisi, basınç ve dayanım arasındaki ilişkinin incelenmesi, mikro yapı incelenmesi uçucu kül miktarının yapı malzemesi dayanımına etkisini incelemiştir.

Ghosal ve Self (1995), uçucu külde bulunan senosfer içeriğinin ve de dane boyutuyla yoğunluk ilişkisinin araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. ABD’de bulunan termik santrallerinden elde edilen uçucu külleri temsil eden, savurmalı ayırım metodu ile 1,6 ile 3,2 gr/cm<sup>3</sup> aralığında birim ağırlık sınıflarına ayrılmış altı değişik kül kullanılmıştır. Küllerin dane dağılımının 1–200 µm aralığında olduğunu belirlemiştir. Yoğunluğu 2,2 gr/cm<sup>3</sup> olan bir ergiyik kullanılan savurmalı ayırım metodu küllerde bulunan senosferin kütle oranını tahmin etmek için kullanmışlardır. Oran ağırlıkça %5 ile 95 arasında değişiklik göstermektedir. Senosfer içeriğinin kömür sınıfıyla görünürde bağıntılı olmadığını, fakat kömürün toplam mineral içeriğiyle kesin olarak alakalı olduğu anlaşılmıştır. Senosferin bölümlerinin ortalama çaplarının senosfer olmayan kısma oranının 2/3 olduğu anlaşılmıştır. Dane boyutu değeri küllerdeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dağılımının belirlenmesi için kullanılmıştır.

Tiwari ve dig. (2004), yaptıkları tezde senosferin ses yutabilen hafif yapı malzemesi olarak kullanımına bakmışlardır. Çimento matrisi ve asfalt betonunun akustik özelliklerini irdelemiştir. Farklı hacim oranlarında senosfer bulunan çimento ve de asfalt betonun numuneleri 0–4000 Hz frekans aralığının üzerinde akustik özelliklerinin belirlemek için test edilmiştir. Elde edilen veriler neticesinde çimento matrisine hacimsel olarak konulan % 40 oranında senosfer eklemenin gürültüyü %100 azalttığını

göstermiştir. Senosferce oldukça zengin çimentonun tersine asfalt betonun ses yutma kabiliyeti hacimsel oranda senosfer artışıyla beraber düşmüştür. Bu düşme Şekil 3.1’de görüleceği gibi siklon danelerinin asfalt betonunda bulunan boşlukları dolduruyor olmasından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. 1. (a) siklon olmayan numunenin yapısı ve de (b) zengin siklon içeren asfalt numunenin yapısı (Tiwari ve dig., 2004)

Barbare ve dig. (2003), 10 ile 300  $\mu\text{m}$  ve 0,67  $\text{gr}/\text{cm}^3$  özgül ağırlığa sahip senosferin düşük ağırlığa sahip beton üretiminde ince kum olarak kullanılabilirliğinin araştırmasını yapmışlardır. Bunun için senosferin kaybettiği ve de kazandığı neme bağlı olarak da siklon ile üretilen kompozitlerdeki su kaybı ve de kazanımı araştırmışlardır. Senosfer



betonundaki su penetrasyonunun zamana bağlı olarak gelişimi Washburn kinetiği kullanılarak şekillendirilmiştir. Model kullanılarak elde edilen sonuçlar da gözenekler arası bağlantının sınırlı olduğunu ve de permeabilitenin düşük olmasına da neden olduğunu göstermişlerdir. SEM fotoğrafları poroz boşluklarının 2–5 µm aralığında olduğunu çıkarmışlardır. Bu koşullarda yapılan deneylerin diğer ortamlara bırakılmış nemli senosfer için kuruma zamanını tahmin etmede kullanabileceğini de göstermişlerdir. Normal beton gibi senosfer betonundan su buharı akısı kuruma çevrimi süresince nem içeriğiyle lineer olamayan değişim göstermişlerdir.

Degirmenci (2008) fosfojipsin uçucu kül ve de kireciyle birlikte inşaat sektöründe kullanımının potansiyelini araştırmıştır. Fosfojips, çimento bağlayıcısı olarak yapmak için ham ve de kalsine edilerek kullanılmıştır. Fosfojips 120 dk 150 °C’de ısıtılarak kalsine edilmiş ve de alçıya dönüştürülmüştür. %10 kireç sabit tutularak, değişik uçucu kül ve fosfojips yüzdelerinden karışımlar oluşturulmuştur. Her bir karışımın su içeriği akma masasında 110-115 mm yayılmalar yapacak şekilde ayarlamıştır. Hazırlanmış numuneler 20 °C sıcaklıkta, %90-95 bağlı nemde 120 dk bir nem odasında depolanmıştır. Depolamadan sonra 28 gün boyunca kür sıcaklığının  $20 \pm 2$  °C olacak biçimde suda ve de havada olmak üzere iki farklı kür koşulunda kür edilmişlerdir. Sonuçlara göre de suda yapılan kür fosfojips ekleme yapılmamış numuneler haricinde dayanımda bir azalmaya neden olmuştur. Fosfojipsin ham ve de kalsine edilerek kullanılması numune dayanımlarında önemli derece de farklılıklar ortaya çıkarmış ve fosfojipsin tek olarak %50 oranında kullanılması ile 28. günde 2,29 MPa’lık basınç dayanımı elde edilirken, aynı oranlar da kalsine edilmiş fosfojipsin kullanılması durumunda da 13.76 MPa’lık bir değere ulaşıldığı gözlenmiştir. Çalışması neticesinde test sonuçlarına göre fosfojips- kireç - uçucu kül karışımlarının blok ve de tuğla gibi iç duvar malzemesi üretiminde de kullanılabilereceği sonucuna varmıştır.

Çiçek ve Tanrıverdi (2007) Türkiye’de her sene termik santrallerden atık olarak üretilen ve de sadece küçük bir kısmı çimento ve beton üretiminde kullanılan kum, uçucu kül ve sönmüş kireç ile hazırlanan karışımlarının otoklavlanarak hafif tuğla üretiminde olanağı araştırmıştır. Çalışmada ağırlıkça optimum uçucu kül-kireç-kum karışım oranı, buhar

basıncı, pres basıncı, ve kütleme süresinin ne olması gerektiğinin incelemesini yapmıştır.



## BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

### 4.1. Kullanılan Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmada çimento, senosfer ve bims agregası kullanılmıştır. Aşağıda bu materyallerin başlıca özellikleri verilmiştir.

#### 4.1.1 Çimento

Yapılan çalışmada Nuh Çimento Sanayi AŞ'den TS EN 197-1'e uygun olarak üretilmiş CEM I 42,5R çimentosu elde edilerek kullanılmıştır. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri görülmektedir

Tablo 4.1.Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	Ağırlık(%)
SiO <sub>2</sub>	20,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40
CaO	64,73
MgO	1,02
SO <sub>3</sub>	2,71
Toplam Alkali	0,59
Klorür	0,0084
Çözünmeyen	0,60
Kalıntı	
Kızdırma Kaybı	2,15
Serbest Kireç	1,03

Tablo 4.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değer
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3,13
Donma Süresi (Vicat, dakika)	Başlangıç-Son 153-188
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /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

#### 4.1.2 Bims

Bu tez çalışmasında kullanılan bimsin temini Hilmi Yıldız İnşaat Yapı Malz. Nak. Paz. San. Ve Tic. Ltd. Şti. firması tarafından sağlanmış g/cm<sup>3</sup>'tür.

Tablo 4.3. Bimsin kimyasal bileşimi

Bileşen	İçerik(%)
SiO <sub>2</sub>	60-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13-15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	7-8
TiO <sub>2</sub>	Eser
SO <sub>3</sub>	Eser
Cl	Eser

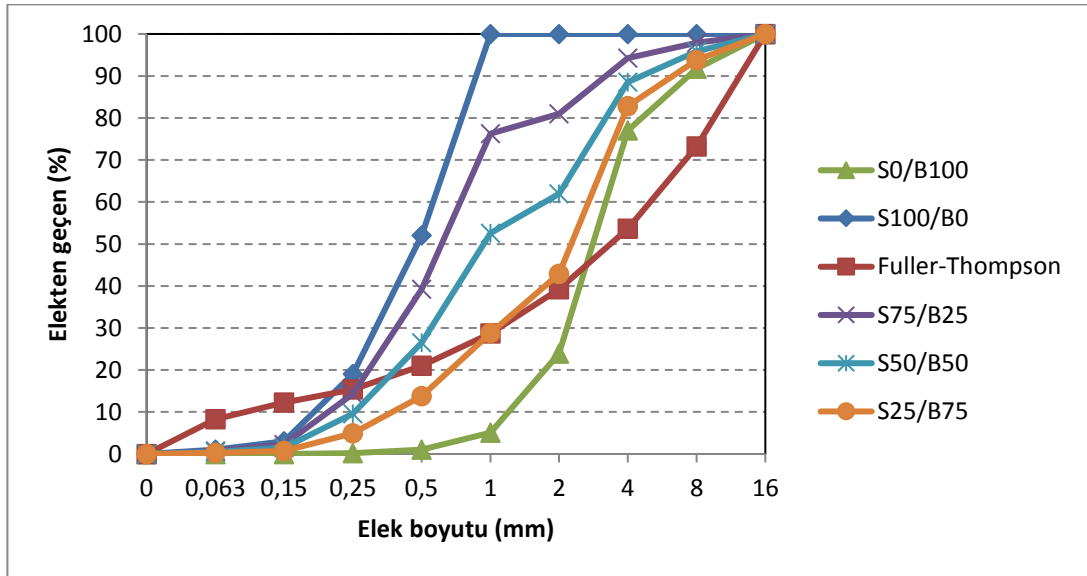
#### 4.1.3 Senosfer

Deneysel çalışmalar da kullanılan senosfer 0,62 g/cm<sup>3</sup> birim ağırlık ve ortalama %40 poroz yapıya sahip bir malzemedir. Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilmiştir.

Tablo 4.4’ te senosferin kimyasal özellikleri verilmektedir. Şekil 4.1’de de senosferin ve bimsin granülometri eğrisi verilmektedir.

Tablo 4.4. Senosferin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	Ağırlık (%)
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	57,84
Alüminyum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	23,91
Demir Oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,42
Titan (TiO <sub>2</sub> )	1,03
K <sub>2</sub> O	4,43
MgO	2,61
Na <sub>2</sub> O	1,16
CaO	0,95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12
SO <sub>3</sub>	0,09
SbO <sub>2</sub>	0,01
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00
PbO	0,00



Şekil 4.1. Senosferin bims agregasının ve bazı numunelerin granülometri eğrisi

## 4.2. Deney Numunelerinin Üretimi

Bu tez çalışmasında senosfer ve bims agregası ile kullanılacak farklı çimento kombinasyonu ile kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Fiziksel olarak; birim ağırlık, su emme ve kılcallık, mekanik olarak; eğilme dayanımı, basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık performanslarına basınç dayanım ölçümleri ve ağırlık ölçümlerine de bakılmıştır.

Kalıp için ağırlıklar belirlenmiş ve dökümler gerçekleştirilmiştir. Her dökümden önce kalıplar temizlenmiş ve de her iç yüzeyi harcın yapışmaması için yağlanmıştır. Dökümler yapılırken laboratuvar mikseri kullanılmıştır. Önce katı malzemeler koyulmuş daha sonra su ve ek su yavaş yavaş ilave edilmiştir. Hazırlanan harç kalıplara 3 etapta koyulmuştur. Her defasında iyice yerleşmesi için titreştirilmiştir. Dökümü gerçekleştirilen numuneler 1 gün kalıpta kaldıktan sonra kür havuzuna koyulmuştur. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilip daha sonra deneylere tabi tutulmuştur. Kullanılan laboratuvar mikseri Şekil 4.2’de, verilmiştir.



Şekil 4.2 Harçların karıştırıldığı mikser

Bu çalışma için 250, 275 ve 300 olmak üzere 3 farklı dozda 15'er farklı karışım dizaynı

belirlenmiştir. Bu numunelere ait karışım dizaynları Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Karışım dizaynları

Sıra No	Çimento	Senosfer (%)	Bims (%)
1	250	100	0
2	250	75	25
3	250	50	50
4	250	25	75
5	250	0	100
6	275	100	0
7	275	75	25
8	275	50	50
9	275	25	75
10	275	0	100
11	300	100	0
12	300	75	25
13	300	50	50
14	300	25	75
15	300	0	100

## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER

Bu çalışmada ısı yalıtımı, su emme ve kuru birim ağırlık, ısı yalıtımı, kılcal su emme, sıcaklığa dayanıklılık, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

### 5.1. Kuru Birim Ağırlık Ve Su Emme

Deneyde su emme ve kuru birim ağırlık deneyleri yapılmış ve hesaplanmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 28 gün suda bekletilmiştir. Daha sonra bütün yüzeyleri bez ile kurulanmıştır. Daha sonra hassas terazide tartılarak doymuş kuru yüzey (DYK) ağırlıkları belirlenmiştir. Tartılan numuneler etüvde 24 saat boyunca 110 °C’de kurutulmuş ve ağırlıkları tartılmıştır. Aşağıdaki formüller kullanılarak numunelerin kuru birim ağırlıkları ve su emmeleri hesaplanmıştır (5.1 ve 5.2).

Kuru birim ağırlık;

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \quad (5.1)$$

$\Delta$ = Kuru birim ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_k$ =Kuru ağırlık (gr)

$V$ = Numune hacmi (cm<sup>3</sup>)

Ağırlıkça yüzde su emme oranı;

$$S_a = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (5.2)$$

$S_a$  = Ağırlıkça yüzde su emme (%)

$W_d$  = Doymuş kuru yüzey ağırlık (gr)

$W_k$  = Kuru ağırlık (gr)

Tüm numuneler için kuru birim ağırlık ve su emme değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.



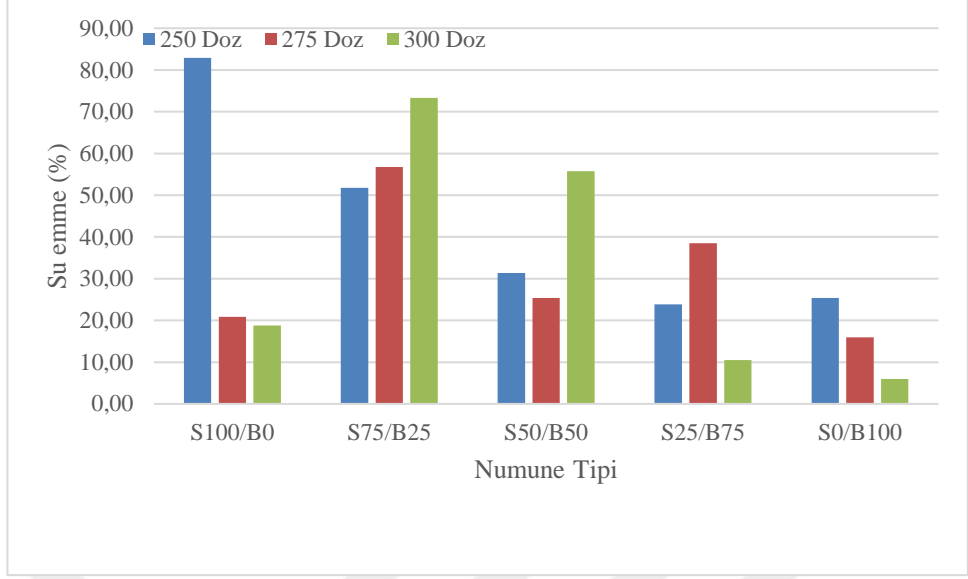
Tablo 5.1. Karışım dizaynların kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri

Numuneler	Kuru Birim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )			Su emme (%)		
	250 Doz	275 Doz	300 Doz	250 Doz	275 Doz	300 Doz
S100/B0	0,52	0,83	0,75	82,87	20,86	18,80
S75/B25	0,65	0,55	0,52	51,75	56,76	73,32
S50/B50	0,80	0,64	0,62	31,38	25,36	55,76
S25/B75	0,86	0,76	1,02	23,84	38,50	10,47
S0/B100	0,96	0,91	1,18	25,34	15,95	5,97

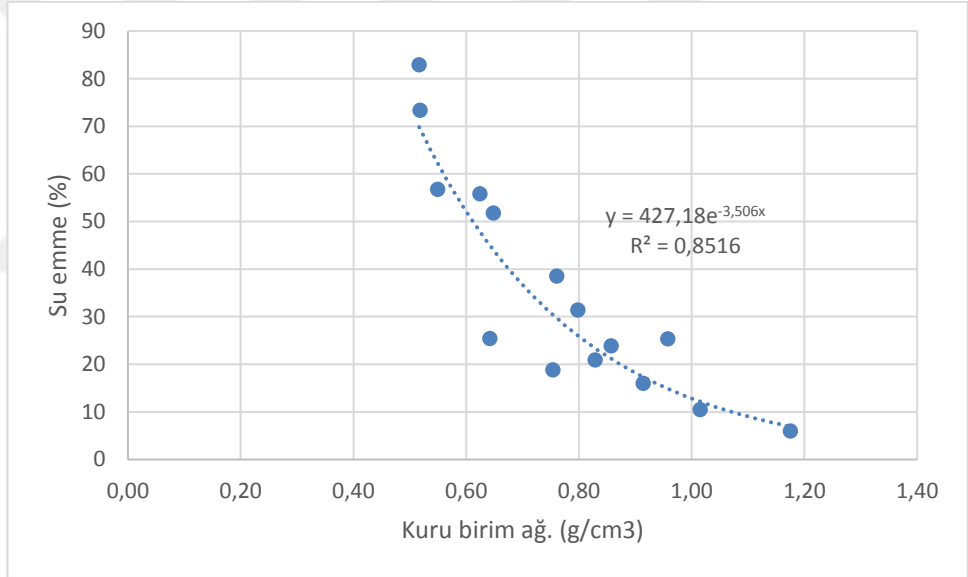


Şekil 5.1. Numunelerin kuru birim ağırlık değerleri

Şekil 5.1' de görüldüğü gibi kuru birim ağırlıklar bims agrega oranı arttıkça artmaktadır. Şekil 5.2'de tersine bir durum söz konusudur. Senosfer azalması ile su emme de azalmıştır. Yalnız S100/B0 numunesindeki değerlerde bu duruma uyumsuzluk gözlenmiştir. Su emme miktarı sadece 250 doz için yüksekken, 275 ve 300 doz için azalmıştır. Bu durum çimentonun senosfer aralıklarındaki boşlukları doldurmuş olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 5.2. Numunelerin su emme değerleri



Şekil 5.3. Numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme değerlerinin ilişkisi

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi numunelerin su emmeleri ile kuru birim ağırlıkları arasında oldukça kuvvetli üstel bir ilişki vardır. Su emme değerleri birim ağırlık artışına bağlı olarak azalmıştır.

## 5.2. Eğilme ve Basınç Dayanım DeneYleri

### 5.2.1.Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı deneyi 40x40x160 mm ölçüsündeki numuneler üzerinden TS EN 1015-11 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasında tek noktadan gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kırılma yükü aşağıdaki formülde yerine yerleştirilerek eğilme dayanımı üç numunenin ortalaması elde edilerek tespit edilmiştir.

$$\sigma_e = 1,5x \frac{FxL}{bx d^2} \quad (5.3)$$

F=Kırılma anındaki yük (N)

$\sigma_e$ = Eğilme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>, MPa)

L=Mesnet açıklığı (mm)

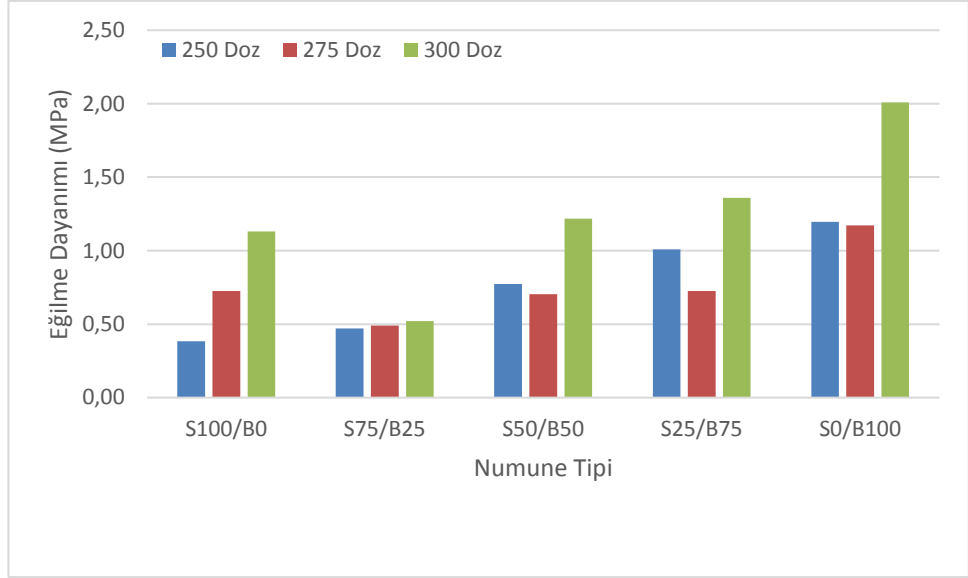
b= Harç numunesinin genişliği (mm)

d=Harç numunesinin yüksekliği (mm)

Eğilme testi sonucunda bulunan sonuçlar Tablo 5.2’de verilmiştir. Tablodan elde edilen sonuçlara göre çizdirilen grafik Şekil 5.4’de görülebilir.

Tablo 5.2. 250 dz’luk karışım eğilme dayanımı

Numuneler	Eğilme Dayanımı (MPa)		
	250 Doz	275 Doz	300 Doz
S100/B0	0,38	0,73	1,13
S75/B25	0,47	0,49	0,52
S50/B50	0,77	0,70	1,22
S25/B75	1,01	0,73	1,36
S0/B100	1,20	1,17	2,01



Şekil 5.4. Numunelerin eğilme dayanımları

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi malzemelerin eğilme dayanımları çimento ve bims agreg artışına bağlı olarak artmıştır. Çimentonun 275 dozajında %50 ve daha fazlası bims agregası kullanılan numunelerde 275 kg/m<sup>3</sup> kullanıma nazaran bir miktar dayanım düşüşü görülmüştür. Özellikle 300 kg/m<sup>3</sup> kullanım sonuçları oldukça olumlu etkilemiştir.

### 5.2.2. Basınç dayanımı

Basınç dayanımlarında kırılan 40x40x160 mm boyutlarındaki eğilme malzemelerinden elde edilen parçalar üzerinden TS EN 1015-11 standardına uygun olarak test edilmiştir. Basınç dayanımında kırılan parçalar 40x40 mm boyutlarında iki plaka yardımı ile tespit edilmiştir. Elde edilen bu yükler aşağıdaki formülde yerine yerleştirilerek altı numunenin ortalaması alınarak basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5.4)$$

$\sigma$  = Basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>, MPa)

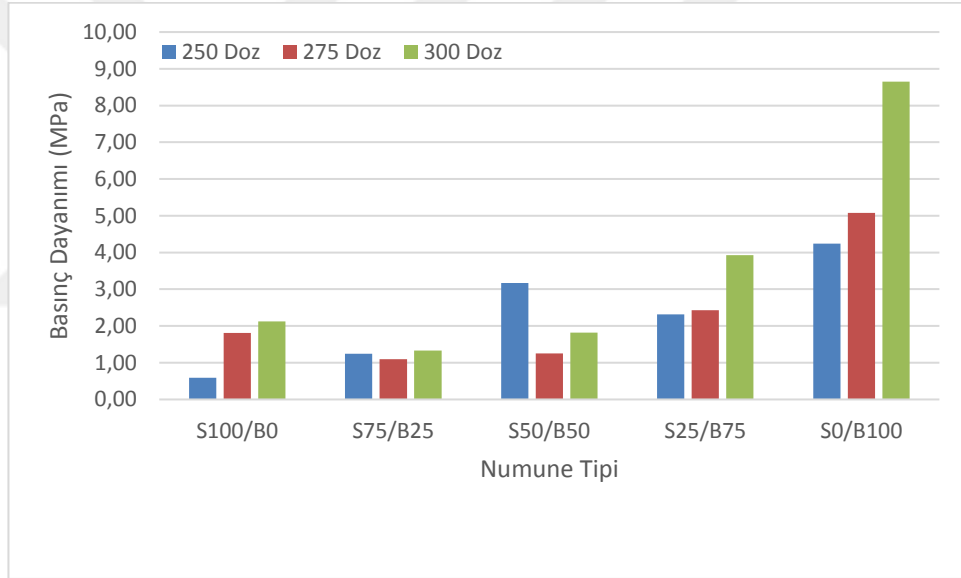
$F$  = Kırılma anındaki yük (N)

$A$  = Basınç uygulanan yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

Eğilme testi sonucunda bulunan sonuçlar Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablodan elde edilen sonuçlara göre çizdirilen grafik Şekil 5.5’de görülebilir.

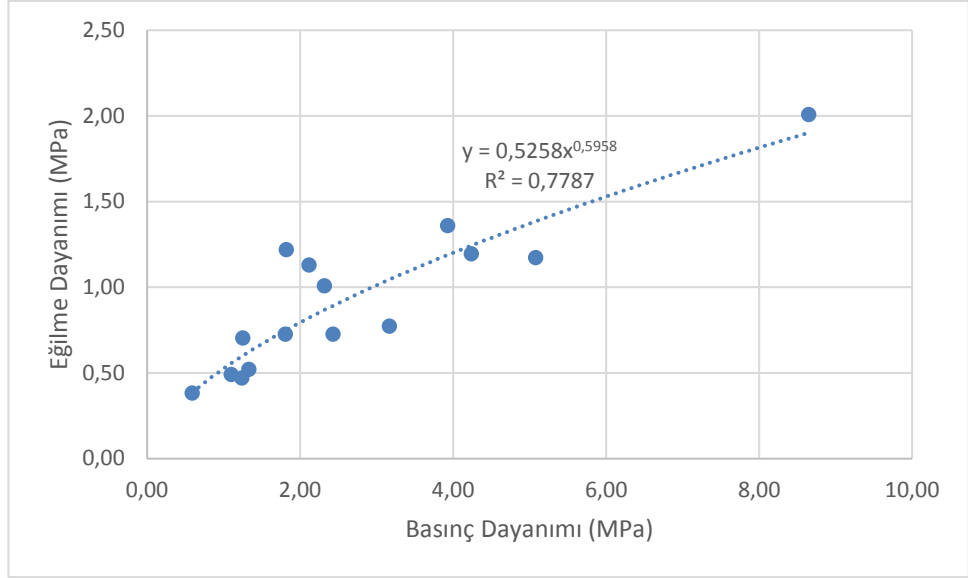
Tablo 5.3. Numunelerin basınç dayanımı

Numuneler	Basınç Dayanımı (MPa)		
	250 Doz	275 Doz	300 Doz
S100/B0	0.59	1.81	2.12
S75/B25	1.54	1.54	1.33
S50/B50	3.17	4.16	1.56
S25/B75	2.32	2.43	3.93
S0/B100	4.24	5.08	8.65



Şekil 5.5. Numunelerin basınç dayanımı grafiği

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi numunelerde bims agregası ve çimento artışına bağlı olarak hem basınç hem de eğilme dayanımı artışı olmuştur. Bu durum Şekil 5.4’deki eğilme dayanımına benzerdir ve iki dayanım durumu arasında kuvvetli bir ilişki olabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.6. Basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik

Şekil 5.6’da basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasında kuvvetli bir ilişki olduğu göze çarpmaktadır. Basınç dayanım artışı ile eğilme dayanımı artışı paralellik göstermektedir ve aralarında üs ilişkisi vardır.

### 5.3. Kılcal Su Emme

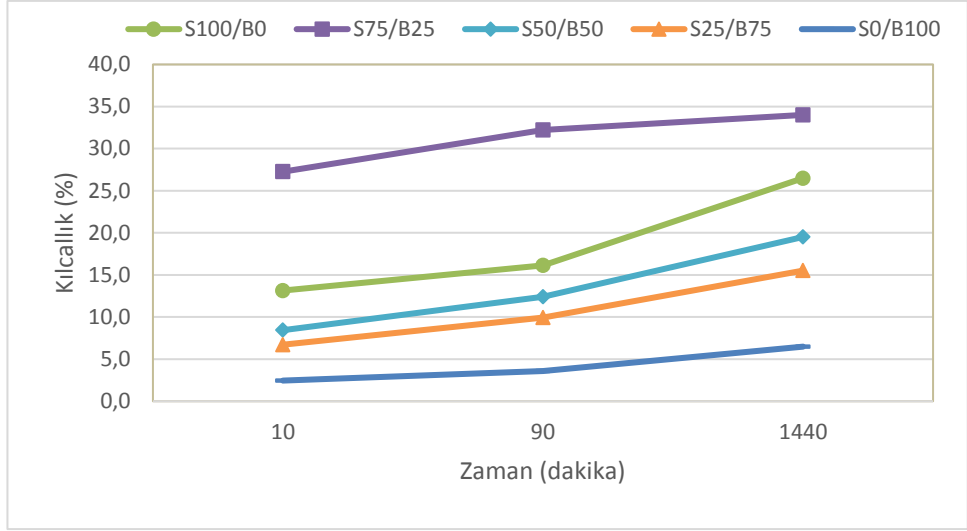
Kılcal su emme TS 1015-18’e göre harç numunelerinin suya temas eden yüzeyinden zamanla emilen su miktarıyla belirlenir. Kompozit numunenin kılcallığını tespit etmek için numunenin önce etüv kurusu olarak ağırlığı tartılır. Daha sonra suya yüzeyi degecek şekilde yerleştirilir. Belirli zaman aralıklarında (10 dk, 90 dk, 24 saat) kompozit numune tartılır ve kapiler su emme miktarları belirlenir.

Yapılarda kılcal etkiler ile emilen sular rutubet oluşturarak sağlık yönünden sakıncalı hale gelmektedir. Buharlaştıkları zaman da içlerindeki tuzları yapı içerisine bırakırlar. Bu tuzlar sıvayı ve boyayı bozarlar. Bu nedenle kompozit malzemenin zamanla uğrayacağı kimyasal ve fiziksel bozulmalara karşı dayanıklılığı için kılcal su emme değerleri son derece önemlidir.

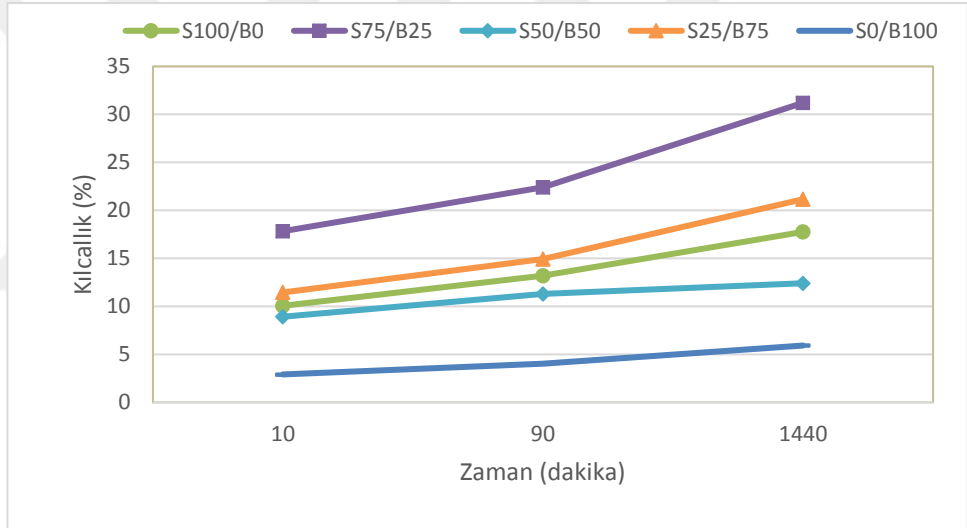
Tablo 5.4.Kılcal su emme değerleri

Numune no	Ölçüm Zamanı (Dakika)/%			
	0	10	90	1440
250 dozluk kompozit numuneler				
S100/B0	0	13.1	16.1	26.5
S75/B25	0	27.3	32.2	34.0
S50/B50	0	8.40	12.4	19.5
S25/B75	0	6.72	9.95	15.5
S0/B100	0	2.45	3.58	6.49
275 dozluk kompozit numuneler				
S100/B0	0	10.1	13.2	17.8
S75/B25	0	17.8	22.4	31.2
S50/B50	0	8.92	11.3	12.4
S25/B75	0	11.5	14.9	21.2
S0/B100	0	2.91	4.02	5.92
300 dozluk kompozit numuneler				
S100/B0	0	7.52	8.91	13.4
S75/B25	0	17.8	21.0	24.3
S50/B50	0	7.90	10.3	12.6
S25/B75	0	4.39	9.00	9.79
S0/B100	0	2.08	6.60	9.16

Kılcal su emme değerlerinin belirlenmesi için deney yapılmıştır. Bu deneyde 3 adet 40x40x160 mm ebadındaki numuneler ortadan kesilerek 6 adet 40x40x80 mm'lik numune elde edilmiştir. Bu 6 adet numune etüvde kurutulduktan sonra kesilen taraflarından 5-10 mm'lik suya konmuştur. Zamanla su emme miktarı belirlenmiştir. Tablo 5.4'de tüm bulunan kılcal su emme değerleri verilmiştir.



Şekil 5.7.250 dozlu numunelerin kılcık su emme değerleri

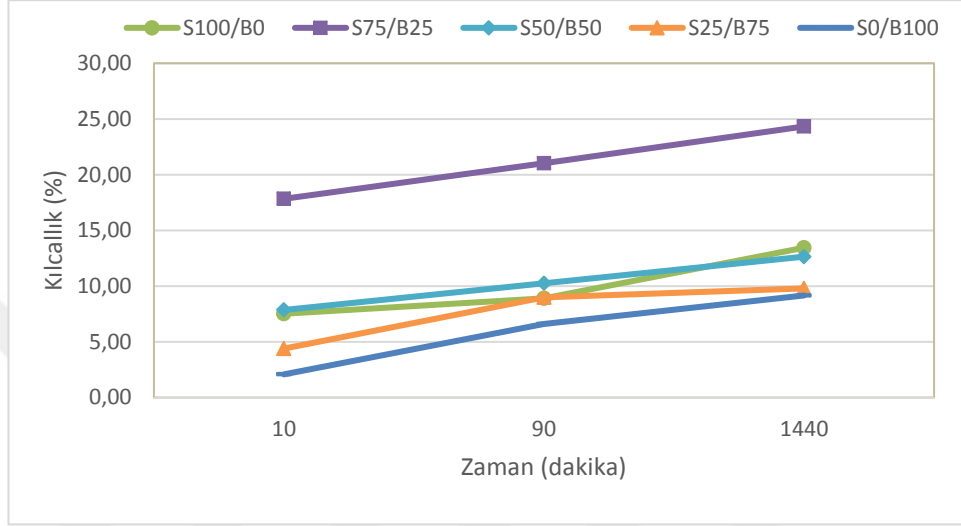


Şekil 5.8.275 dozlu numunelerin kılcık su emme değerleri

Şekil 5.7’te görüldüğü gibi, 250 dozlu numuneler 10 dakikadan 1440 dk (1gün)’ya kadar değişen süreçte kılcık olarak su emdirildiğinde senosferin %50 ve daha az oranda kullanıldığı numunelerin çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kılcık su emme 10 dakikadan 1440 dk’ya ciddi bir artış yapmamaktadır. Bu da ilk 10 dakikada su emmenin çok yüksek olduğunu bize göstermektedir. En yüksek değeri veren S75/25 numunesinin 1440 dk’lık kılcılık değerinin %35 seviyesine çıktığı görülmektedir.



Şekil 5.8'te 275 çimento dozajı için S75/B25 en çok kılcal su emme değerine sahiptir. 1440 dk sonunda %30 seviyelerine çıkmıştır. Diğer numune seviyeleri 250 dozajdakine benzer seyretmiştir (kılcallıklar azalmış, seviyeler benzer kalmıştır). Bu durum çimento dozajının karışımında artmasının boşlukları önemli ölçüde doldurması ve bağlayıcı artışına bağlı kılcallık azalması olabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.9.300 dozlu numunelerin kılcal su emme değerleri

Şekil 5.9'da maksimum seviye daha da alta düşerek S75/B25 numunesi için %25'lere gerilemiştir. Diğer numunelerde de dozajın artışı ile kılcallık iyice azalmıştır ve S75/B25 hariç diğer numunelerin değerleri birbirine çok yaklaşmıştır.

#### 5.4. Sıcaklığa Dayanıklılık

Deneyde numunelerin sıcaklık etkisi altında kaldıktan sonra basınç dayanımındaki ve ağırlıklarındaki kayıp incelenmiştir. Sıcaklığa dayanıklılık deneyi için 50x50x50 mm ebatlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Her dizayn için toplam 12'şer kompozit numune kullanılmıştır. Öncelikle bütün kompozit numunelerin ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra da 12 numune 4 farklı gruba ayrılmıştır. 1. Grup kompozit numuneler etüvden çıktığı haliyle, 2. grup 300°C'de (bu sıcaklığa 1 saatte çıkılmıştır), 3.grup 600 °C'de (bu sıcaklığa 2 saatte çıkılmıştır), 4.grup ise 900 °C'de (bu sıcaklığa 3 saatte çıkılmıştır) sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Sıcaklık dayanıklılık deneyi için PROTHERM plf 110/30 markalı fırın kullanılmıştır. Kompozit numuneler fırında 6 saat

bekletildikten sonra işleme tabi tutulmuşlardır. Daha sonrasında fırın kapağı açılarak soğumaları beklenmiştir. Şekil 5.10' da fırın görülmektedir.



Şekil 5.10. PROTHERM p1f 110/30 markalı fırın

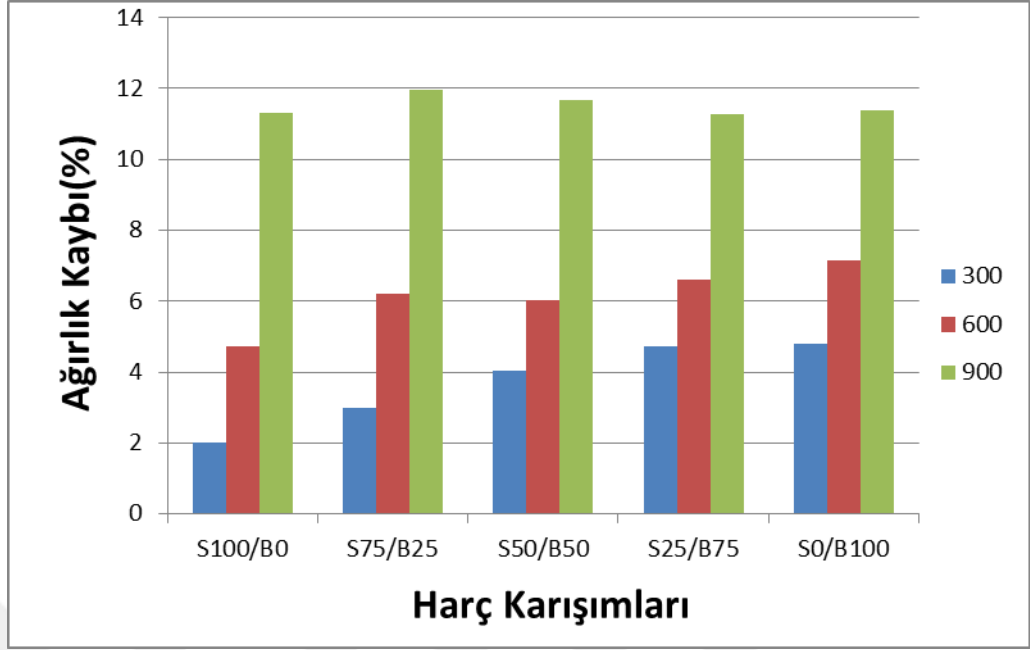
Fırında 300°C, 600°C ve 900°C'de sırasıyla 7 saat, 8 saat, 9 saat boyunca bekletilen 3'er numunenin ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonrada basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır ve de etüvden çıktığı haliyle karşılaştırılmıştır.

#### 5.4.1. Ağırlık kaybı

Deneyde 50x50x50 mm ebadındaki küp şeklindeki numunelerin fırından önceki ağırlıkları ile fırında 300°C, 600°C ve 900°C'de 6 saat bekletildikten sonraki ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.5'de bütün numunelerin ağırlık kaybı yüzdeleri verilmiştir.

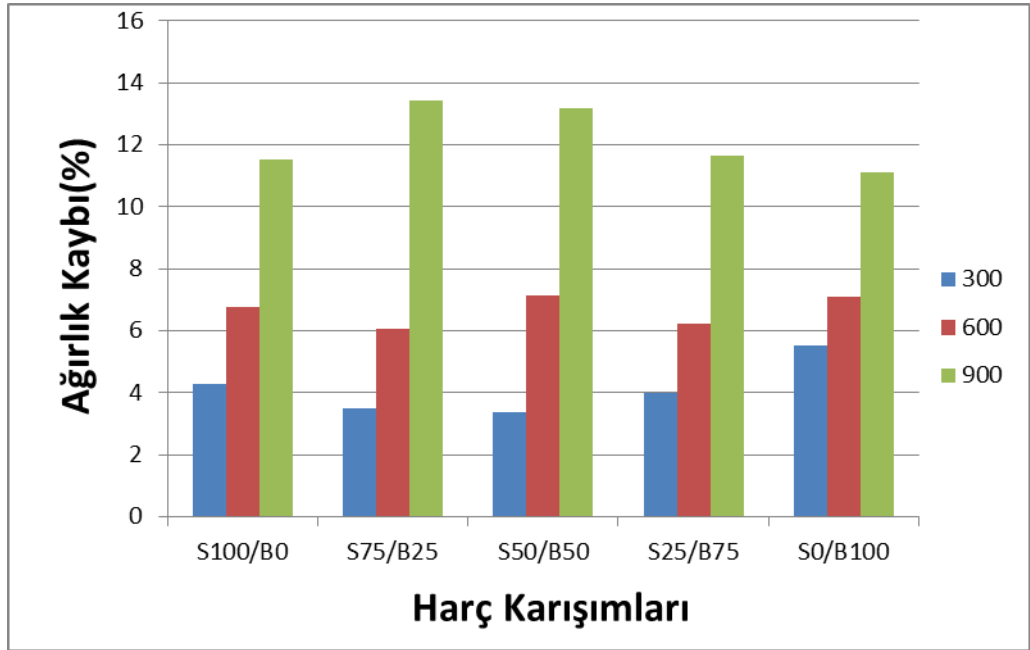
Tablo 5.5. Ağırlık kaybı miktarı değerleri

Numune e Adı	300 °C'lik sıcaklık			600 °C'lik sıcaklık			900 °C'lik sıcaklık		
	Fırında n Önceki Ölçüm (g)	Fırında n Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırında n Önceki Ölçüm (g)	Fırında n Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırında n Önceki Ölçüm (g)	Fırında n Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %
250 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	68,9	67,5	2,031	67,06	63,9	4,71	68,0	60,3	11,32
S75/B25	83,4	80,9	2,997	84,4	79,16	6,20	82,6	72,7	11,98
S50/B50	111,2	106,7	4,046	110,9	104,2	6,041	107,9	95,3	11,67
S25/B75	120,9	115,2	4,714	119,8	111,9	6,594	111,6	99,0	11,29
S0/B100	129,0	122,8	4,806	118,6	110,1	7,166	128,4	113,8	11,37
275 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	111,7	106,9	4,297	118,5	110,5	6,751	105,0	92,9	11,52
S75/B25	71,0	68,6	3,498	70,76	66,46	6,076	69,3	60,0	13,41
S50/B50	83,1	80,3	3,369	79,83	74,13	7,140	82,8	71,9	13,16
S25/B75	102,9	98,8	3,984	104,6	98,1	6,214	100,4	88,7	11,65
S0/B100	126,8	119,8	5,520	121,4	112,8	7,084	120,5	107,1	11,12
300 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	106,8	101,4	5,056	103,63	96,73	6,658	108,4	96,7	10,79
S75/B25	73,7	71,06	3,582	71,9	66,8	7,093	78,43	67,9	13,42
S50/B50	88,4	84,1	4,864	82,6	76,56	7,312	85,5	74,4	12,98
S25/B75	103,1	97,8	5,140	103,8	96,4	7,129	102,6	89,9	12,37
S0/B100	132,1	123,4	6,585	133,2	122,5	8,033	134,7	117,4	12,84



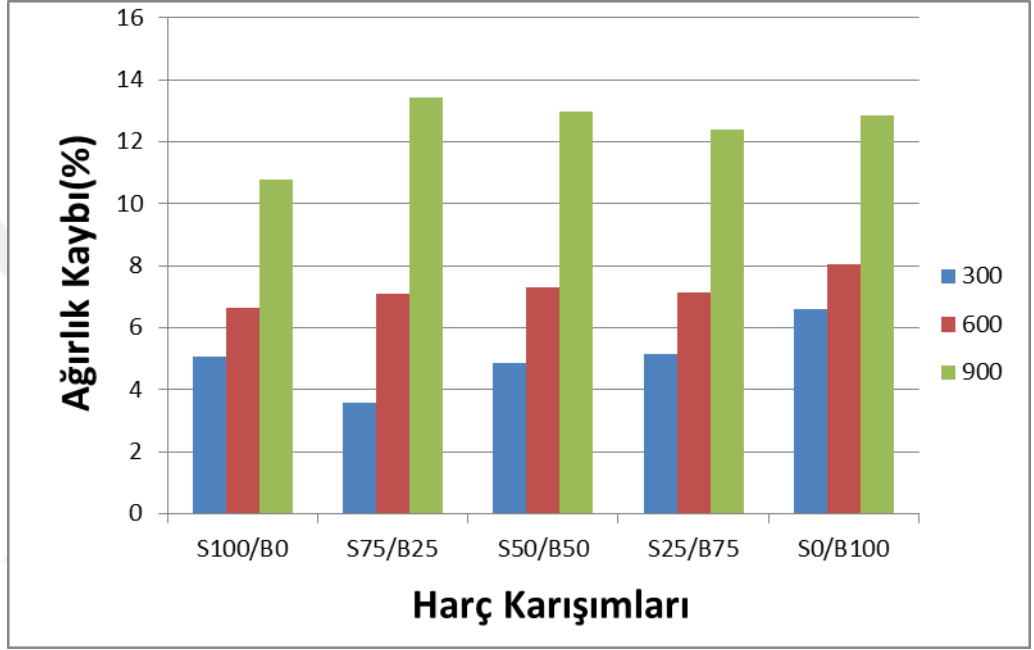
Şekil 5.11.250 dozlu numunelerin ağırlık kaybı miktarı

Şekil 5.11’de görüldüğü ve beklendiği gibi en çok ağırlık kaybı 900 °C’ de olmuştur. Senosfer değeri azaldıkça ağırlık kaybı miktarı artmıştır. Ağırlık kayıpları maksimum %12 seviyelerine yaklaşmıştır. S75/B25 en kötü numune olurken, S100/B0 en iyi numune olmuştur.



Şekil 5.12.275 dozlu numunelerin ağırlık kaybı miktarı

Şekil 5.12'deki grafikte de en yüksek ağırlık kaybı 900 °C'de olmuştur. Genel olarak bakıldığında en düşük ağırlık kaybı miktarı S100/B0 ve S25/B75 numunelerinde olmuştur. Bu durum senosferin dayanıklılığı arttırdığını, ancak S25/B75 numunesinde senosfer azalmasına rağmen granülometrinin daha iyi olması ve malzemelerin daha iyi boşlukları doldurması ile dayanıklılığı olumlu etkilediğini göstermektedir. İçerikteki 275 dozaj ağırlık kayıplarını 250 dozaja göre az bir farkla arttırmıştır.



Şekil 5.13.300 dozlu numunelerin ağırlık kaybı grafiği

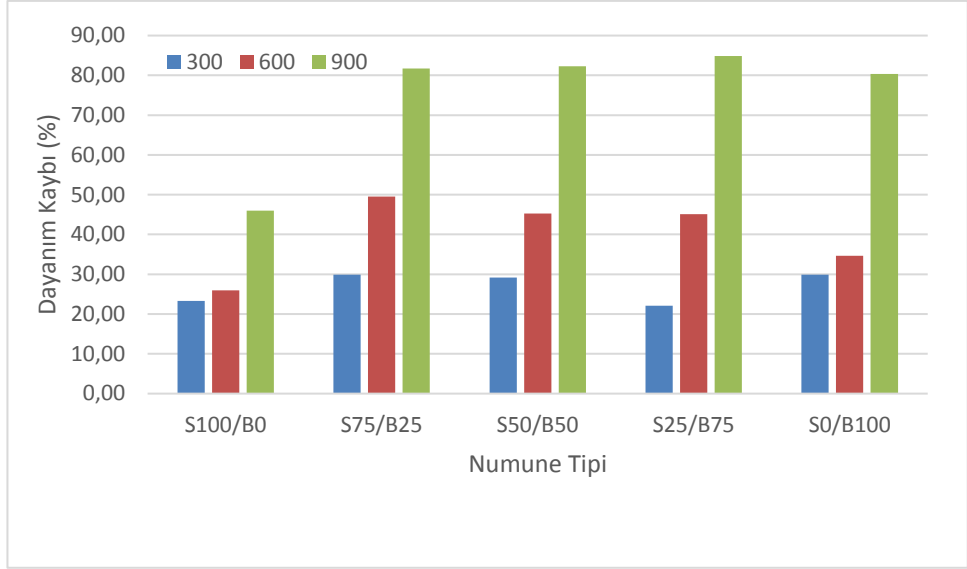
Şekil 5.13'de yine en başarılı numune S100/B0 olmuştur. Numune değerleri çok yakın olmakla birlikte, seyir 275 dozajdan çok da farklı değildir.

#### 5.4.2. Basınç dayanımı kaybı

Deneyde 50x50x50 mm ebadındaki küp şeklindeki numunelerin fırından önceki basınç dayanımları ile fırında 300°C, 600°C ve 900°C'de 6 saat bekletildikten sonraki basınç dayanımları karşılaştırılmıştır (Tablo 5.6).

Tablo 5.6.Dayanım kaybı miktarı değerleri

Numune Adı	300 °C'lik sıcaklık			600 °C'lik sıcaklık			900 °C'lik sıcaklık		
	Fırında Önceki Ölçüm (Mpa)	Fırında Sonraki Ölçüm (Mpa)	Dayanım Kaybı Miktarı %	Fırında Önceki Ölçüm (Mpa)	Fırında Sonraki Ölçüm (Mpa)	Dayanım Kaybı Miktarı %	Fırında Önceki Ölçüm (Mpa)	Fırında Sonraki Ölçüm (Mpa)	Dayanım Kaybı Miktarı %
250 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	0,45	0,34	23,3	0,45	0,33	26,0	0,45	0,24	46,0
S75/B25	1,06	0,74	29,9	1,06	0,54	49,5	1,06	0,19	81,7
S50/B50	4,82	3,42	29,2	4,82	2,64	45,3	4,82	0,85	82,3
S25/B75	3,45	2,68	22,1	3,45	1,89	45,1	2,93	0,44	84,8
S0/B100	2,32	1,62	29,9	2,32	1,51	34,7	2,32	0,45	80,4
275 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	0,49	0,32	34,52	0,49	0,25	47,7	0,49	0,18	62,7
S75/B25	0,75	0,49	34,64	0,75	0,34	54,4	0,75	0,20	73,4
S50/B50	2,84	1,53	46,25	2,84	1,05	63,1	2,84	0,40	86,1
S25/B75	5,04	4,42	12,30	5,04	2,42	51,9	5,04	1,03	79,6
S0/B100	2,32	1,87	19,46	2,32	0,77	66,8	2,32	0,41	82,2
300 dozluk kompozit numuneler									
S100/B0	0,65	0,56	13,93	0,86	0,56	35,5	0,86	0,23	73,3
S75/B25	1,38	0,94	32,37	1,08	0,42	60,8	1,38	0,14	90,1
S50/B50	2,60	1,60	38,21	2,60	1,24	52,1	2,60	0,53	79,5
S25/B75	8,38	5,73	31,55	8,38	4,08	51,3	8,38	2,07	75,3
S0/B100	3,27	2,48	24,11	3,27	1,57	52,0	3,27	1,03	68,3



Şekil 5.14.250 dozluk numunelerin dayanım kaybı grafiği.

Şekil 5.14’de sıcaklık artışına bağlı olarak dayanım kayıpları net olarak görülmekte ve bu artışlar 900 C sıcaklıkta daha da belirgin hale gelmektedir. S100/B0 numunesi diğerlerine göre belirgin şekilde başarılıdır.



Şekil 5.15.275 dozlu numunelerin dayanım kaybı grafiği

Şekil 5.15 ve 5.16’da benzerlikler söz konusudur, Burada S100/B0 ve S25/B75 numuneleri nispeten iyi sonuçlar vermiştir. Çimento dozajlarının artışı genel olarak dayanım kaybını arttırmakta ve avantaj yerine dezavantaj getirmektedir. Bu durum

çimentonun diğer kullanılan malzemelere göre sıcaklığa karşı dayanıksız olmasına bağlanabilir.



Şekil 5.16.300 dozlu numunelerin dayanım kaybı grafiği

## 5.5. Isı Yalıtımı

Isı yalıtımı, soğutma ve ısıtma giderlerinde yaklaşık %40-60 arası tasarruf sağlamaktadır. Maliyetini de yaklaşık 3 sene içerisinde amorti edebilmektedir. Nem, mantar ve küften koruyarak sağlıklı bir yaşam konforu sunmaktadır. Doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların tüketimini azalttığından doğaya da büyük anlamda katkı sağlamaktadır.

Isı yalıtımı deneyleri Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan bilgisayarlı okuma yapabilen sıcak plaka (hotplate) yöntemine göre çalışabilen cihaz ile yapılmıştır (Şekil 5.17). Bu cihaza yerleştirilen plaka numunelerin  $\lambda$  değerleri bilgisayar üzerinden okunabilmektedir.





Şekil 5.17.Sıcak plaka yöntemine göre çalışan cihaz

Ekrandan okunan değerler aşağıdaki formül yardımıyla  $\lambda$  değerini bulmamızı sağlar.

$$\lambda = \frac{Q*d}{A*T} \quad (5.5)$$

$\lambda$  = Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.K)

Q=Cihazdan uygulanan güç (W)

d= Numune kalınlığı (m)

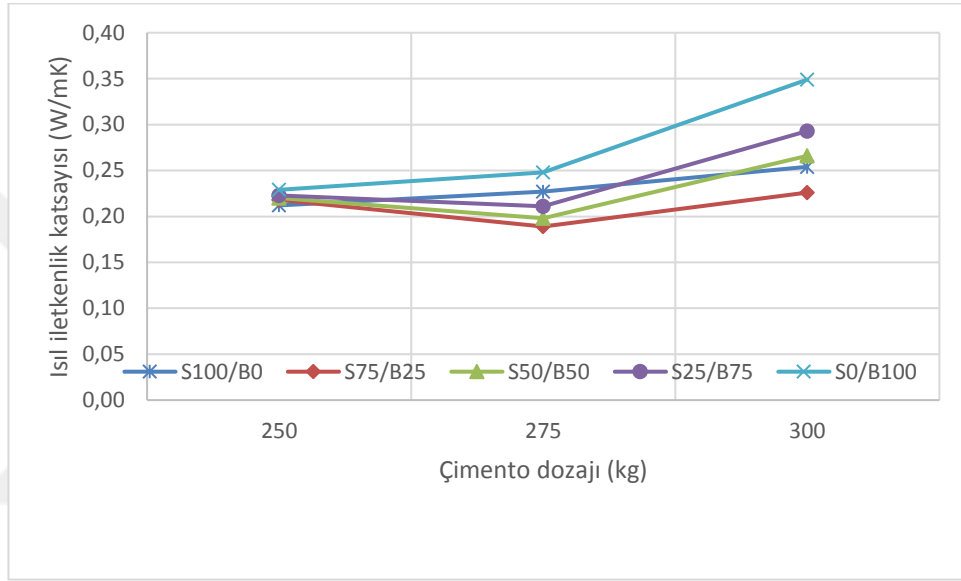
A=Alan (m<sup>2</sup>)

T= Uygulanan sıcaklık farkı (K)

Tablo 5.7’de kullanılan numunelerin tiplerine bağlı olarak ısıl iletkenlik değerlerinin nasıl değiştiği görülmektedir. Şekil 5.18’de ise bu değerler grafik olarak gösterilmiştir.

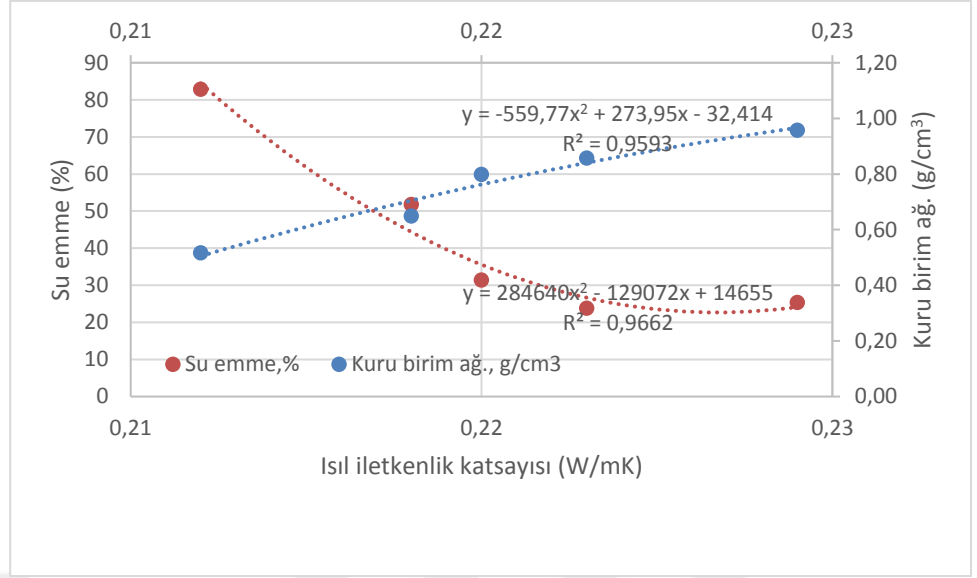
Tablo 5.7. Numunelerin tiplerine göre ısı iletkenlik değerleri.

Numune Tipi	Çimento Dozajına göre ısı iletkenlik değerleri (W/m.K)		
	250 kg	275 kg	300 kg
S100/B0	0,210	0,230	0,254
S75/B25	0,218	0,189	0,226
S50/B50	0,220	0,198	0,266
S25/B75	0,223	0,211	0,293
S0/B100	0,229	0,248	0,349

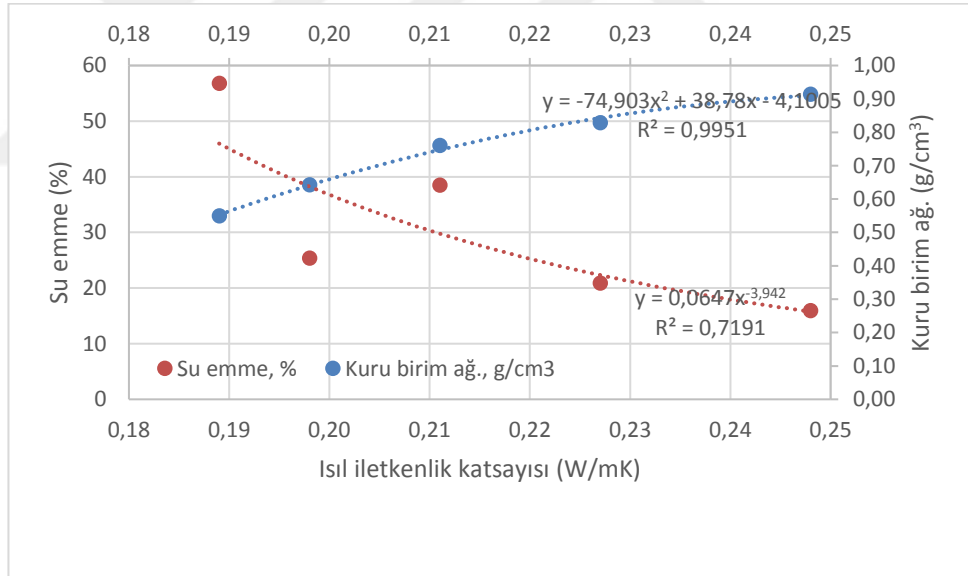


Şekil 5.18. Isıl iletkenlik katsayısının çimento dozajı ve numune tipine bağlı olarak değişimi.

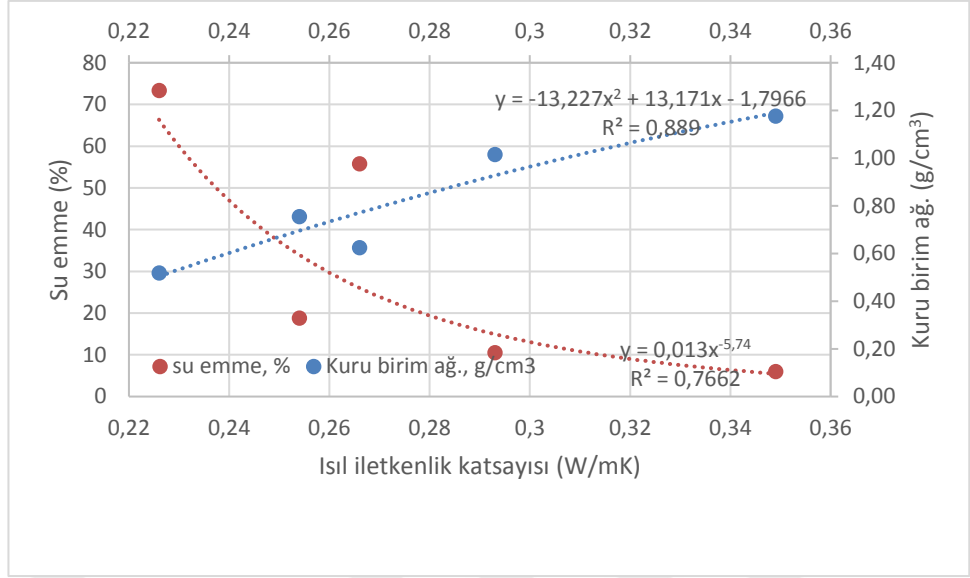
Şekil 5.18’de bims agregası kullanımının ısı iletkenliği olumsuz etkilediği ve bu etkinin dozajın 300 kg değerinde daha da arttığı görölmektedir. Özellikle %100 bims kullanılan S0/B100 numunesinde bu etki daha belirgindir ve 0.35 W/mK değerine kadar çıkmıştır. Diğer numunelerde 275 dozaj seviyesi 250’den daha iyi değerler vermiştir. Ayrıca diğer tüm numuneler birbirlerine yakın değerler vermektedir.



Şekil 5.19.250 doz çimento kullanımı için ısıl iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.



Şekil 5.20.275 doz çimento kullanımı için ısıl iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.



Şekil 5.21.300 doz çimento kullanımı için ısı iletkenlik ile su emme ve kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.

Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21’de ısı iletkenlik katsayısı ile kuru birim ağırlık ve su emme arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişki özellikle 250 kg çimento seviyesinde oldukça kuvvetli görülmekle beraber çimento arttıkça nispeten azalmaktadır.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Deneylerin genel değerlendirmesine göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Harçta bims agregası içeriği arttıkça birim ağırlık olumsuz etkilenecek artmış, fakat su emme azalmıştır.
- Birim ağırlık ile su emme arasındaki ilişki kuvvetlidir ve birbirine çok bağlıdır.
- Basınç ve eğilme değerleri bims agregası içeriği arttıkça artmış ve olumlu etkilenebilir.
- Basınç ve eğilme dayanımları arasında kuvvetli bir ilişki vardır.
- Kılcal su emmenin büyük kısmı ilk 10 dakikada olmaktadır ve bims agregası arttıkça olumlu etkilenecek kılcallık azalmaktadır.
- Sıcaklığa dayanıklılık yönünden çok büyük farklar oluşmamıştır. Beklendiği gibi sıcaklık arttıkça ağırlık kaybı ve dayanım kaybı artmıştır. 900 C’de ağırlık kayıpları daha fazla artmış, fakat tüm numuneler bu sıcaklığa dayanabilmiştir. S0/B100 ve S25/B75 numuneleri daha başarılı görülmüştür.

Tüm numunelere bakıldığında dayanım artışı, hafiflik, daha az su emme ve kılcallık, sıcaklığa dayanıklılık ve ısı yalıtımı kriterleri istenmektedir. Bu durumda S50/B50 ve S25/B75 numunelerinin daha iyi oldukları görülmüştür. Bu durum granülometrinin de önemini göstermektedir. S100/B0 numunesi de bims agregası içermemesine rağmen bir çok testten olumlu sonuç vermiştir. S25/B75 en zayıf numune olmuştur.

## KAYNAKLAR

- Aruntas, H., Y., 2006, “Uçucu Küllerin inşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 21 (1), 193-203.
- A.Ç.S.Teknik Yayını 2002. Çimento Üretim Teknolojileri A.Ç.S. Kütüphanesi.  
ASTM C 67-08, Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.
- ASTM C1585 – 04, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.
- Bali, E., 2001. Çimento Yapımında Kullanılan Kayaçlar ve Üretilen Çimentonun (Edirne Lalapaşa) Mühendislik Açısından Değerlendirilmesi'.Adana.
- Baba E. 2018“ Hafiflik, Ekonomiklik, Isı Yalıtımı ve Yeterli Basınç Dayanımı Unsurları Taşıyan Kompozit Malzeme Üretimi, Kocaeli
- Çimhol A.Ş., 1989. Çimento Teknolojisi, Cilt 1.
- Doğan-Sağlamtimur N., Güven A., Bilgil A., (2018). Physical and Mechanical Properties of Cemented Ash-Based Lightweight Building Materials with and FLS SMITH INSTITUTE, 2002. Çimento Üretimi Semineri Notları Cilt (1-2).
- Fernandes V., Silva L., Ferreira V. M., Labrincha J. A., (2005). Influence of the kneading water content in the behaviour of single-coat mortars. Cement and concrete research, 35(10), 1900-1908.
- Karagüler M.E., Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İtü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin F. Ş., Yildirim S. T., (2016). Investigation of Utilization of Perlite and Bottom Ash for the Insulation Mortar by Using Design of Experiment via Taguchi Method. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 3(1).
- Kuleli, Ö., 2009. “Çimento Mühendisliği El Kitabı” Ankara.
- Mimar Y. Emre Çiçek, Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton Ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özelliklerinin

Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.

- TS 3234, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı Ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- Turhan Ş., Gündüz L., (2008). Determination of specific activity of 226Ra, 232Th and 40K for assessment of radiation hazards from Turkish pumice samples. *Journal of environmental radioactivity*, 99(2), 332-342.
- Rodrigues F. A. Joekes I., (2011). Cement industry: sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, 9(2), 151-166.
- Sariisik A., Sariisik G., (2012). New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate. *Materials and structures*, 45(9), 1345-1357.
- Özdemir 2001, “ Tunçbilek Termik Santrali Uçucu küllerinin karakterizasyonu ve yan ürünlerin elde eldesi” İstanbul Teknik Üniv. Mad. Müh., İstanbul.
- Ochs F., Heidemann W., Müller-Steinhagen H., (2008). Effective thermal conductivity of moistened insulation materials as a function of temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(3-4), 539-552.
- Özkan Ş. G., Tuncer G., 2001, “Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış” , 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-119, İzmir.
- Yazıcı, H., 2004, “Termik Santral Atığı Yapay Alçı-Uçucu Kül-Taban Külü Esaslı Yapı Malzemesi Gelistirilmesi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yanık S, 2007, “Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, C.Ü., F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, ADANA.
- Yildirim S. T., Kiraz E., (2013). Investigation of binders composition and curing condition of masonry samples with fly ash and expanded perlite. *Cement Wapno Beton* 18.80, nr 3: 169-177.
- Zukowski M., Haese G., (2010). Experimental and numerical investigation of a hollow brick filled with perlite insulation. *Energy and Buildings*, 42(9), 1402-1408.
- Yüksek İ., (2015). The evaluation of building materials in terms of energy efficiency. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 59(1), 45.  
without Pumice. *Advances in Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1155/2018/9368787.

11052010-avtar-in-sozde-solculugu-uzerine./ [www.madenciyim.com](http://www.madenciyim.com)

11032011-maden -in-sozde-solculugu-uzerine. / [www.yoltaş.net](http://www.yoltaş.net).





## ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Gebze’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Darıca ‘da tamamladı. 2010 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Met. Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nü 2015 yılında tamamladı. 2016 güz döneminde Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa başladı ve tezini 2019 yılı Mayıs ayında tamamladı.

