T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR ATIĞI VE PERLİT KATKILI ÜRETİLEN TUĞLANIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Selçuk ÇİMEN

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Ahmet Celal APAY**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Mehmet ÇETİN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Selçuk ÇİMEN tarafından hazırlanan "**Bor Atığı Ve Perlit Katkılı Üretilen Tuğlanın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Ahmet Celal APAY Düzce Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Mehmet ÇETİN Kastamonu Üniversitesi	.....

16/01/2019

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Hasbi YAPRAK .....

TAAHHÜTNAME

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

Selçuk ÇİMEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOR ATIĞI VE PERLİT KATKILI ÜRETİLEN TUĞLANIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Selçuk ÇİMEN
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Endüstrinin gelişmesi atıkların oluşumunu beraberinde getirmektedir. Bu atıkların uygun sektörlerde kullanılması atıkların çevreye vereceği zararı minimize etmektedir. Bu atıkların değerlendirildiği alanlardan biri de inşaat sektörünün tuğla koludur.

Bu çalışmada yerel malzemelerimizden olan perlit ve kıymetli endüstri atığı olan bor atığının tuğla yapı malzemesi özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde durulmuştur. Çalışmada tuğla bünyesine %5 perlit malzemesi sabit tutularak, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bor atığı ikame ederek tuğla numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 900 ^{0}C'de pişirilmiştir. Pişirilme sonucunda elde edilen tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Fiziksel farklılıklarının tespiti için özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite, kılcal su emme ve donma-çözünme deneyleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerinin tespiti için ise tuğla numunelerine basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

Sonuç olarak; perlit ve bor atığı katkısının uygun oranlarda tuğla üretiminde kullanılabileceği, kullanılması durumunda tuğla özelliklerine herhangi bir sakıncası olmadığı ve olumlu yönde etki sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bor atığı, perlit, tuğla, fiziksel özellik, mekanik özellik

2019, 115 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BORON WASTE AND PERLITE ADDITIVE PRODUCED BRICK

Selçuk ÇİMEN
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR

Abstract: The development of the industry is bring along the formation of wastes. Use of these wastes in appropriate sectors minimizes the damage of wastes to the environment. One of the areas where these wastes are assessed is the brick area of the construction industry.

In this study, it was emphasized to improve the properties of brick building material of perlite which is our local materials and boron waste which is valuable industrial waste. In the study, 5% perlite material was kept constant in brick, 5%, 10%, 15% and 20% ratio substitute boron waste were produced brick samples. The produced samples were fired at 900 ° C. Physical and mechanical tests were applied to the brick samples obtained as a result of firing. Experiments were carried out for determine the physical differences of specific gravity, water saturated specific bulk density, porosity, capillary water absorption and freeze-thaw. For the determination of the mechanical properties, compressive strength and flexural strength tests were applied to the brick specimens. The results obtained are interpreted with the help of tables and graphs.

As a result; perlite and boron waste additive can be used in the production of bricks at appropriate proportions and it has been observed that there is no drawback to the properties of the brick in case of use and that it has an effect on the positive direction.

Key Words: Boron waste, perlite, brick, physical property, mechanical property

2019, 115 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmamın konusu, deneysel çalışmaların yapılması ve yazım aşamalarında bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR' a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında emeği geçen bütün değerli hocalarıma ve yüksek lisans eğitimim sürecince bilgi ve tecrübelerini aktaran hocam Dr. Öğr. Gör. Arzu ÇAĞLAR' a teşekkür ederim.

Eğitimimin her aşamasında beni destekleyen ve yanımda olan eşim Öğr. Gör. Arzu ÇİMEN ve sevgili oğlum Enes ÇİMEN' e sonsuz teşekkürlerimle…

Selçuk ÇİMEN
Kastamonu, Ocak, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
TABLOLAR DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
3. MATERYAL VE YÖNTEM 10
3.1. Materyal 10
3.1.1. Bor Ve Bor Atığı 10
3.1.1.1. *Bor Elementinin Tanımı Ve Genel Yapısı* 10
3.1.1.2. *Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri Ve Bileşikleri* 12
3.1.1.3. *Dünya'da Bor Rezervleri* 18
3.1.1.4. *Türkiye'de Bor Rezervleri* 21
3.1.1.5. *Bor Ürünleri Kullanım Alanları* 25
3.1.1.6. *Bor Atıklarının Değerlendirilmesi* 29
3.1.2. Perlit 31
3.1.2.1. *Perlitin Tanımı Ve Genel Yapısı* 31
3.1.2.2. *Perlitin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri* 33
3.1.2.3. *Dünya'da Perlit Yatakları* 37
3.1.2.4. *Türkiye'de Perlit Yatakları* 38
3.1.2.5. *Perlitin Kullanım Alanları* 40
3.1.3. Kil 47
3.1.3.1. *Kil Mineralinin Tanımı Ve Genel Yapısı* 47
3.1.3.2. *Kil Minerallerinin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri* 52
3.1.1.3. *Dünya'da Kil Rezervleri* 55
3.1.1.4. *Türkiye'de Kil Rezervleri* 55
3.1.1.5. *Kil Minerallerinin Kullanım Alanları* 56
3.1.4. Tuğla 57
3.1.5. Tuğla Numunesi Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar 61
3.2. Yöntem 63
3.2.1. Bor Atığı Ve Perlit Katkılı Tuğla Numunelerinin Üretimi 63
3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler 66
3.2.2.1. *Özgül Ağırlık* 67
3.2.2.2. *Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık* 67
3.2.2.3. *Porozite* 68

3.2.2.4. *Kılcal Su Emme* 68
3.2.2.5. *Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi* 69
3.2.3. Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler 70
3.2.3.1. *Basınç Dayanımı* 71
3.2.3.2. *Eğilmede Çekme Dayanımı* 71
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 73
4.1. Bor Atığı Ve Perlit Katkılı Numunelerin Değerlendirilmesi 73
4.1.1. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları 73
4.1.1.1. *Özgül Ağırlık* 74
4.1.1.2. *Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık* 75
4.1.1.3. *Porozite* 75
4.1.1.4. *Kılcal Su Emme* 76
4.1.1.5. *Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi* 77
4.1.2. Numunelere Uygulanan Mekanik Deney Sonuçları 77
4.1.2.1. *Basınç Dayanımı* 78
4.1.2.2. *Eğilmede Çekme Dayanımı* 78
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 79
4.2.1. Özgül Ağırlık 79
4.2.2. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık 80
4.2.3. Porozite 81
4.2.4. Kılcal Su Emme 82
4.2.5. Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi 84
4.2.6. Basınç Dayanımı 85
4.2.7. Eğilmede Çekme Dayanımı 86
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 88
5.1. Sonuç 88
5.2. Öneriler 89
KAYNAKLAR 91
ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
BNCT	Bor Nötron Yakalama Tedavisi
BT	Bor Atığı Katkılı Tuğla
B_2O_3	Borik Asit
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum Oksit
Cr	Krom
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EPA	Genleştirilmiş Perlit
EPS	Expanded Polistiren Sert Köpük
Fe_2O_3	Demir Oksit
gr	Gram
HK	Knoop Sertlik (Newton/milimetre)
H_2O	Su
K	Potasyum
LCD	Sıvı Kristal Ekran
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
m	Metre
Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum Oksit
mm	Milimetre
M.Ö	Milattan Önce
MnO_2	Manganez Dioksit
MTA	Maden Tetkik Arama
N	Numune
Na	Sodyum
Na_2O	Sodyum Oksit
ORT	Ortalama
P	Perlit
ppm	Milyonda Bir
REF	Referans Numunesi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	Silisyum
SiO_2	Silisyum Dioksit
SO_3	Kükürt Trioksit
TiO_2	Titanyum Dioksit
TSW	Tinkal Katı Atık
TS	Türk Standartları
XRD	X-Işını Kırınımı
μ	Mikron

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Bor Elementinin Kristal Yapısı..... 11
Şekil 3.2. Dünya'da Önemli Bor Yatakları..... 19
Şekil 3.3. Türkiye'de Bor Yatakları Haritası 21
Şekil 3.4. Bor Atıklarının Değerlendirilmesinde Mevcut Seçenekler..... 30
Şekil 3.5. Montmorilonit Kil Mineralinin Yapısı Ve Şematik Gösterimi..... 50
Şekil 3.6. İllit Kilinin Yapısı Ve Şematik Gösterimi 50
Şekil 3.7. Kaolinit Kil Mineralinin Atomik Yapısı Ve Şematik Gösterimi 51
Şekil 3.8. Tuğla Üretim Aşamaları 58
Şekil 4.1. Numunelerin Özgül ağırlıklarının Karşılaştırılması 80
Şekil 4.2. Numunelerin Suya Doygun Birim Hacim Ağırlıklarının Karşılaştırılması..... 81
Şekil 4.3. Numunelerin Porozite Değerlerinin Karşılaştırılması 82
Şekil 4.4. Numunelerin Kılcal Su Emme Miktarlarının Karşılaştırılması 83
Şekil 4.5. Numunelerin Donma-Çözünmenin Basınç Dayanımına Etkisinin Karşılaştırılması..... 84
Şekil 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması 85
Şekil 4.7. Numunelerin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerlerinin Karşılaştırılması..... 86

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Borun Fiziksel Özellikleri 10
Tablo 3.2. Bor Elementinin Atomik Yapısı 11
Tablo 3.3. Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri 12
Tablo 3.4. Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri 13
Tablo 3.5. Dünya'da Borik Asit Rezervleri Dağılımı 19
Tablo 3.6. Ham Ve Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri 34
Tablo 3.7. Perlitin Kimyasal Özellikleri 36
Tablo 3.8. Perlitin Farklı Ülkelerdeki Kimyasal Bileşimi 38
Tablo 3.9. Ülkelerin Perlit Üretim Miktarları 38
Tablo 3.10. Türkiye Perlit Rezervleri 39
Tablo 3.11. Perlitin Sektörel Bazda Kullanımı 41
Tablo 3.12. Erzincan Mollaköy Ham Perlitinin Bileşenleri 47
Tablo 3.13. Erzincan Mollaköy Perlit Agregasının Fiziksel Özellikleri 47
Tablo 3.14. Ülkeler Bazında Seramik Ve Tuğla Kili Rezervleri 55
Tablo 3.15. Türkiye'de Üretilen Kil Rezervleri 56
Tablo 3.16. Killerin Sektörel Bazda Kullanım Alanları 56
Tablo 3.17. Karışım Oranları Reçetesi 65
Tablo 3.18. Fiziksel Deneyler İçin Kullanılan Numune Sayıları 66
Tablo 3.19. Mekanik Deneyler İçin Kullanılan Numune Sayıları 70
Tablo 4.1. Referans Ve Katkılı Numunelere Ait Basınç Dayanımı Ve Donma-Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı Değerleri 74
Tablo 4.2. Üretilen Tuğla Numunelerinin Özgül Ağırlık Değerleri 74
Tablo 4.3. Üretilen Tuğla Numunelerinin Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık Değerleri 75
Tablo 4.4. Üretilen Tuğla Numunelerinin Porozite Değerleri 76
Tablo 4.5. Üretilen Tuğla Numunelerinin Kılcal Su Emme Değerleri 76
Tablo 4.6. Üretilen Tuğla Numunelerinin Donma-Çözünmenin Basınç Dayanımına Etki Değerleri 77
Tablo 4.7. Üretilen Tuğla Numunelerinin Basınç Dayanımı Değerleri 78
Tablo 4.8. Üretilen Tuğla Numunelerinin Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri 79

1. GİRİŞ

Kil veya killi topraklara gerektiğinde kum eklenerek su ile iyice karıştırıldıktan sonra kalıplanarak özel fırınlarda pişirilmesi sonucu elde edilen yapı malzemesine tuğla denilmektedir (Karaman 2006). Tuğla üretimine uygun toprakların bol, üretimin ise ucuz ve kolay olması tuğlanın şehirlerde, kırsal alanlarda, tarımsal yapılarda yoğun bir şekilde kullanılmasına neden olmaktadır (Marotta 2005).

Fırat-Dicle havzasında bulunan yapı kalıntıları incelendiğinde, tarihin en eski yapı malzemesi olan tuğlanın tarihte ilk kez M.Ö 6000 yıllarında üretildiği tespit edilmiştir (Şahin, 2009). Ateşin bulunmasıyla M.Ö 3000 yıllarında ilk pişmiş tuğlanın üretildiği düşünülmüştür (İşlek, 2010). Endüstriyel açıdan pişmiş tuğla malzemesinin ilk üretimi M.Ö. 4000 yılında Babil Kulesinin yapımında kullanılmak için yapılmıştır (Görhan, 2011). Kule inşasında 85 000 adet tuğla kullanımının tuğla üretiminin endüstriyel boyuta taşındığının göstergesi olmuştur (Şahin, 2008). Tuğla betonarme bulunana kadar yığma yapılarda vazgeçilmez bir malzeme iken betonarme bulunduktan sonra duvar ve döşemelerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çiçek, 2002).

Sanayi ve teknolojinin hızla gelişmesi sonucunda inşaat sektörüne her gün yeni ürünler katılmaktadır. Yeni ürünün yanı sıra mevcut malzemenin doğal kaynaklarla ya da endüstriyel atıklarla iyileştirilmesi işlemi de gün geçtikçe ivme kazanmaktadır.

Perlit gibi doğal kaynakların, bor atığı gibi endüstriyel atıkların sürekli aktif bir sektör olan tuğla sektöründe kullanılması atıkları bertaraf etmekle kalmayacak aynı zamanda doğal kaynaklarımızın da üretime katılması sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasında yerel malzemelerimizden olan perlitin (ana hammadde) ve kil-bor atığı (doğal bağlayıcı) kullanılması ile elde edilecek tuğla numunelerinin yapı sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Perlit ve bor atığı kullanılarak düşük ağırlığa ve yüksek mukavemete sahip tuğla üretilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yöremiz ve ülkemizde çok fazla miktarda bulunan perlit agregasını ve borun işlenmesi sonucu âtıl durumda olan bor atığının inşaat sektörüne kazandırılması planlanmıştır.

Tez çalışmasında, referans, %5 oranında perlit sabit tutularak, %5, %10, %15 ve %20 oranında bor atığı katkılı olmak üzere 5 seri tuğla üretimi yapılmıştır. Üretilen tuğla numunelerine fiziksel (özgül ağırlık, kılcal su emme, porozite, donma-çözünme etkisi) ve mekanik (basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı) deneyler uygulanıp, ilgili standartlarda olması gereken tuğla numune değerleriyle karşılaştırılarak malzemenin olumsuz yönleri ortaya konulmuştur. Deney sonuçlarına göre malzemeye çeşitli oranlarda perlit ve bor atığı katılarak malzeme iyileştirmesi yoluna gidilmiştir. Tezin asıl amacı yapılan tüm deneylerle perlit ve bor atığı katkılı tuğlanın mineral katkı olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktır.

Tezdeki bilgiler uygulamaya konulduğunda, bor atığı ve perlit katkılı tuğlalar mevcut tuğlaya göre dayanımı yüksek olacağından yeni yapılan konutlar daha uzun ömürlü olacaktır. İyileştirilmiş tuğla numuneleri konuta yapılan bakım ve onarım masraflarında azalma meydana getireceği için aile bütçesine dolaylı olarak da ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır. Endüstriyel atık olan bor atığı uygun sektörlerde değerlendirildiğinde; Atıkların oluşturduğu çevre kirliliği ve atık depolama maliyetleri azalacaktır. Atık üretime katılmasıyla hem atıkların geri dönüşümü sağlanacak hem de yeni ve daha kaliteli bir ürün elde edilmiş olacaktır. Böylelikle bor atıkları sanayi sektörüne kazandırılarak ülke ekonomisine katkı da bulunulacaktır.

Bu tez çalışması yerel ham maddelerimizden olan perlit ve bor mineralinin işlenmesi sonucu açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi ve bu değerlendirmenin ülke ekonomisine sağlayacağı katkı bakımından önem teşkil etmektedir. Perlit ve bor katkısı ile teknik özellikleri iyileştirilen tuğla yapı malzemesinin seri üretime geçmesiyle teknolojiye katkıda bulunulacaktır. Tez çalışmasındaki bilgiler literatüre kazandırılarak bilime katkı sağlayacaktır.

Çalışmada Erzincan İli Mollaköy beldesinde bulunan perlit agregası kullanılacağı için Erzincan ili perliti, Eskişehir Kırka bölgesi bor atığı kullanılacağı için de Eskişehir ili bor atığı seçilerek konu sınırlandırılmıştır. Kullanılan perlit Erzincan'da bulunan Persan A.Ş'den, bor atığı Eskişehir Kırka bucağında bulunan bor işleme tesislerinin baraj atıklarından temin edilmiştir.

Tezde ilk kısmı giriş bölümünden oluşmaktadır. Bu bölümde yerel malzemelerimizden olan perlit, endüstri atığı olan bor ve tuğla yapı malzemesinden kısaca bahsedilmiştir. Bölüm içerisinde tezin amacı, önemi ve kapsamına da değinilmiştir.

İkinci bölüm olan kaynak araştırması bölümünde tez hakkında yapılan literatür araştırması takdim edilmiştir. Bu kapsamda tuğla yapı malzemesinin iyileştirilmesi, endüstriyel bir malzeme olan bor ve üretim sonucu açığa çıkan bor atığı ve perlit malzemesi hakkında kitaplar, tezler, bildriler, elektronik ortamında ve dergilerde yayınlanmış ulusal ve uluslararası makaleler irdelenmiştir.

Tezde üçüncü bölüm materyal ve yöntem bölümünden oluşmaktadır. Materyal bölümünde; Bor elementinin tanımı ve genel yapısı, ticari bor mineralleri, Dünya'da bor rezervleri, Türkiye'de bor rezervleri, bor ürünleri kullanım alanları, perlitin tanımı ve genel yapısı, Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri, Dünya'da perlit yatakları, Türkiye'de perlit yatakları, Perlit kullanım alanları, kil minerallerinin tanımı ve genel yapısı, Dünya'da kil rezervleri, Türkiye'de kil rezervleri, killerin kullanım alanları, tuğla yapı malzemesi ve deneyde kullanılacak ekipmanlar hakkında bilgiler sunulmuştur. Yöntem başlığı altında ise, referans, %5 oranında perlit sabit tutularak %5, %10, %15 ve %20 oranında bor atığı katkılı olmak üzere 5 seri tuğla numunesi üretiminden bahsedilmiştir. Ayrıca üretilen tuğla numunelerine uygulanan fiziksel ve mekanik deneylere yer verilmiştir.

Dördüncü bölüm olan araştırma sonuçları ve tartışma başlığı altında, numunelere uygulanan fiziksel deneyler (özgül ağırlık, kılcal su emme, porozite, donma-çözünme etkisi)deneyler ve mekanik (basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı) deneylerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik deney sonucunda elde edilen veriler ayrı ayrı tablolar şeklinde sunulmuştur. Ayrıca numunelere ait değerler karşılaştırılarak grafikler yardımıyla anlatılmıştır.

Sonuç ve öneriler başlıklı son bölümde, tez çalışması sonucunda elde edilen bilgiler sunulmuş ve konu hakkında çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sönmez ve Yorulmaz (1995) Eskişehir ili kırka ilçesinde bulunan boraks işleme tesislerinde açığa çıkan atıklarının tuğla hammaddesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, bor atığının tuğlaya uygun oranda eklenmesinin tuğla malzemesine herhangi bir sakınca oluşturmayacağını bildirmişlerdir.

Yamık vd. (1995) yaptıkları çalışmada, Seyitömer termik santralinden elde edilen kül, kolemanit atığı ve tuğla kili karışımının tuğla yapımında kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Sonuç olarak, Türk Standartları'na uygun tuğla karışım reçetesinin %15 termik santral külü, %15 kolemanit ve %70 kil ile sağlanacağını bildirmişlerdir.

Kavas ve Emrullahoğlu (1999) Kırka bor atığını farklı oranlarda Seydişehir kırmızı çamuru ile karıştırarak tuğla imal etmişlerdir. Ürettikleri tuğlaların düşük su emme ve yüksek mukavemet özelliğine sahip olduğunu ve endüstride kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Demir ve Orhan (2002) ponza kumuna Kırka Boraks işletmesi bor atıklarını belli oranlarda karıştırılarak numuneler hazırlamışlardır. 900 °C pişirilerek hazırlanan numunelere fiziksel ve kimyasal deneyler uygulamışlardır. Deney sonucunda hafif ve gözenekli yapıya sahip yapı blokları elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Özdemir ve Öztürk (2003) çimento klinkerine tinkal üretiminde açığa çıkan 1. ve 2. kil pestili atığını farklı oranlarda katarak çimento elde etmiştir. Ürettiği çimentoda meydana gelen fiziksel ve kimyasal etkileri araştırmıştır. Sonuç olarak %5 oranında atık kullanımının çimento norm dayanımlarından daha yüksek dayanımlar elde edileceğini ifade etmişlerdir.

Uslu ve Arol (2004) çalışmalarında bor işlenmesi sonucu açığa çıkan bor atığının çevre kirliliğine neden olduğunu tespit etmiştir. Atık sorunlarını azaltmak için tuğla üretiminde boraks konsantratörün atıklarının kullanılmasını araştırmışlardır. Ağırlığa göre %30'a kadar bor atığı ikame ederek tuğla üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere

yapmış oldukları fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda borun tuğla üretimine uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Topçu ve Boğa (2005) tinkal üretimi sonrasında meydana gelen bor atıklarının çimentoda kullanımı araştırmışlardır. Çimentoya %0, %3, %7, %10 oranlarında bor atığı ikame edilmesi ile üretilen harçların yüksek sıcaklık dayanımlarını incelemişlerdir. İlk olarak, bor atıklarını çimento boyutunda öğütüp 40×40×160mm boyutlarında harç numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri 180 dakika boyunca 20˚C, 150˚C, 300˚C, 400˚C, 600˚C ve 900˚C sıcaklıklarda pişirmişlerdir. Süre sonunda numuneleri oda sıcaklığında soğumaya bırakmışlardır. Yapılan deneyler sonunda elde ettiği verilere göre, sıcaklığın artması ile harç numunelerinin basınç dayanımlarında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. 150˚C'de %0 ve %3 bor atığı katkılı harçların basınç dayanımlarının arttığı, %7 ve %10 oranında bor atığı katkılı harçların basınç dayanımının ise azaldığı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda %3 ve daha düşük oranlarda bor atığı kullanımının yüksek sıcaklık etkisi açısından daha olumlu sonuçlar ortaya çıkaracağını ifade etmişlerdir.

Kavas (2006) çalışmasında %5, %10 ve %15 oranlarında Kırka bor atığını akışkanlaştırıcı olarak kullanarak tuğla üretmiştir. Üretilen tuğla numunelerini 700 ^{0}C, 800 ^{0}C ve 900 ^{0}C de pişirmiştir. Numunelere mineralojik ve mekanik testler uygulamıştır. Testler sonucunda tuğla üretiminde %15 oranında bor atığı ikamesinin en iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca bor atığının akışkanlaştırıcı madde olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Kurama vd. (2006) değişik oranlarda Kırka boraks atığını, vitrifiye fabrikasından alınan kil ile birleştirerek zemin karosu üretmişlerdir. Üretilen zemin karosu numunelerini 1050 ^{0}C, 1100 ^{0}C, 1150 ^{0}C pişirmişlerdir. Üretilen zemin karosu numunelerine kırılma dayanımı, su emilimi, SEM ve XRD gibi yapısal karakterizasyon deneylerini uygulamışlardır. Deney sonucunda elde edilen veriler üretilen numunelerin kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Kurttepeli (2006) Kırka tesisinden elde edilen gölet atığına %5, %10, %20 ve %30 oranında kil ikame ederek numune üretmiştir. Numunelere, üç noktadan eğme ve bulk

yoğunlukları ölçümü deneylerini uygulamıştır. Ayrıca yapısal karakterizasyonunun tespiti için DTA analizi ve XRD analizleri yapmıştır. Yapılan tüm deneyler neticesinde, en uygun karışım oranının %20 gölet atığı ilavesi ile sağlanacağını ortaya koymuştur.

Abalı vd. (2007) fosforik asit atıkları ve bor atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında yıkanmış atık ikameli kil tuğlası, atık ikameli kil tuğlası ve atık kullanılmayan kil tuğlası (referans) üretimi yapmışlardır. Ürettikleri tuğla numuneleri su emme, ağırlık kaybı ve doğal kuruma kısalması gibi parametreler kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışma sonucunda endüstriyel atıkların tuğlanın kuruma süresinin kısalmasına, ağırlık kaybı ve su emilimi özelliklerine ise olumlu etkileri olduğunu bildirmişlerdir.

Aydın (2009) çalışması kapsamında öğütülmüş kolemanit atığı katkılı beton numuneleri üretimi yapmıştır. Beton içerisine kolemanit atığını %0, %3, %5, 10, %15 gibi farklı oranlarda çimento malzemesine ikame etmiştir. Elde edilen verilerine göre; numunelerin 180 günlük basınç dayanımlarının, şahit numuneye oranla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bunun yanı sıra 0,50 S/Ç oranında üretilen numunelerin, 0,60 S/Ç oranında üretilen numunelere oranla daha yüksek basınç dayanıma sahip olduğunu bildirmiştir.

Batar ve Köksal (2009) farklı oranlarda perlit, atık kâğıt, boraks ve boraks atığı kullanarak sıva malzemesi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Numunelere ısı geçirgenlik ve basınç deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçları piyasada aktif bir şekilde kullanılan mevcut sıva malzemeleriyle mukayese etmişlerdir. Sonuç olarak; ikameli ürünlerin mukavemetinin ve ısı geçirgenlik direncinin mevcut sıva malzemesine göre artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Christogerou vd. (2009) seramik üretimi için kullanılan kile %0, %5 ve %15 oranında bor atığı ekleyerek seramik hamuru oluşturmuşlardır. Oluşturduğu bu hamuru 800 ^{0}C, 850 ^{0}C, 900 ^{0}C, 950 ^{0}C gibi farklı sıcaklıklarda pişirmişlerdir. Numuneler üzerinde uyguladıkları testler sonucuna göre, seramik için en uygun sonuçların %5 oranında bor atığının 900 ^{0}C pişirmesiyle elde edilebileceğini tespit etmiştir.

Şahin (2009) tuğla kiline, ağırlıkça %0 (referans) %1 ve %2 oranında borik asit katkısı ile tuğla numunesi üretmiştir. Ürettiği numuneleri değişik sıcaklıklarda pişirmiştir. Numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit etmek için çeşitli deneyler yapmıştır. Ayrıca mikro yapısında oluşacak farklılıkları tespit etmek için SEM ve XRD tekniği ile numuneleri incelemiştir. Çalışma sonucunda borik asit katkısının tuğlanın mekanik özelliklerini geliştirdiğini bildirmiştir.

Çelik (2010) çalışmasında perlit, bor ve kil katkılı hafif tuğla numuneleri üretmişlerdir. Değişik boyutlarda ürettiği hafif tuğla numunelerine fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler uygulamıştır. Çalışma sonucunda, üretilen katkılı tuğlaların, teknolojik özellikleri açısından inşaat sektöründe kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Erdoğan (2016) halı atıklarının ham kolemanite atığı ve kolemanite gölet atığı katkılı solüsyon ile karıştırarak izolasyon malzemesi üretimi yapmışlardır. Seri üretim için gerekli ortalama karışım oranlarını belirledikten sonra yaptığı deneylerle ürünün fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Ürettiği numunelerin piyasadaki ürünler ile fiziksel özelliklerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuç olarak, yapılarda sorunsuz bir şekilde kullanılabilecek yüksek ısı ve ses yalıtım özelliği taşıyan bir yalıtım malzemesi üretmişlerdir.

Demirel ve Nasıroğlu (2017) bor mineralleri ve bor atıklarının çimentoda kullanım şekillerini incelemişlerdir. Çalışmada bor atıklarının çimentoda priz süresine olumlu etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir.

Hamamcı (1998) perlit agregası içeriğine değişik dozlarda silis dumanı ilave ederek betonun taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkisinin incelemiştir. Perlit miktarının artması ile basınç mukavemetinde azalma olduğunu tespit etmiştir.

Erdem vd. (2007) klinkere %20 ve %30 oranında perlit ekleyerek çimento üretmişlerdir. Ürettikleri çimentonun performansı, lazer ışını ile parçacık boyutu dağılımı, normal kıvam, zaman ayarı, dayanıklılık, basınç mukavemeti deneyleri uygulamışlardır. Perlitin katkılı çimento üretimi için yeterli puzolanik özelliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Taban vd. (2012) çimento katkı maddesi olarak kullanılan zeolit, perlit, dolomit ve kolemanitin çevresel etkilerini ve ağırlıkça %0, %10 ve %20 oranlarında CEM I 42.5 R çimentosuyla yer değiştirerek ürettikleri çimento harçlarının mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Mekanik test sonuçlarına göre; dolomit katkılı numunelerin en yüksek , kolemanit katkılı numunelerin ise en düşük değere sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Bulut ve Tanaçan (2009) TS 25' de belirtilen puzolanik aktivite deneyini yaparak, deney numunelerine çeşitli katkı maddelerinin katıldığı ve kür sıcaklığının değiştirilerek puzolanik aktiviteye etkisinin incelemişlerdir. TS 25 standardında tanımlı olan hesapların doğru olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrıca katkı maddelerinin basınç ve çekme dayanımını artırdığını ve kür sıcaklığının standartta belirtildiği gibi (55°C) olması gerektiğini gözlemlenmişlerdir.

Gökçe vd. (2010) hacimce %10 oranında, 3 değişik özelliğe sahip genleştirilmiş perlit agregası, ham perlit agregası yerine kullanarak çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda uygun özellikteki genleştirilmiş perlit agregasının, ham perlit agregalı hafif betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Gökçe vd. (2010) doğal perlit agregası kullanılarak farklı su/çimento (s/ç) ve farklı granülometrik karışımlarla üretilen hafif betonların basınç dayanımlarının, ultrases geçiş hızlarının ve birim hacim ağırlıkları arasındaki değişimlerin araştırmış, S/Ç oranının, ultrases geçiş hızı değerinin ve basınç dayanımını artırdığını ortaya koymuşlardır.

Topçu ve Işıkdağ (2008) katkı oranım, dozajı, çimento çeşitlerini dikkate alarak genleştirilmiş perlit agregaları (EPA) içeren betonların özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında; mekanik özelliklerinde bazı kayıplar olmasına rağmen yeterli katkı oranları ile hafif betonda EPA kullanılabilirliğini kanıtlamışlardır.

Yu vd. (2003) genleştirilmiş perlitin hafif betonun termal iletkenliği ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırmış, perlit içeriğinin artmasıyla basınç mukavemeti ve elastike modülünün azaldığım ve ısıl iletkenlik ve birim ağırlık arasında kuvvetli bir bağ olduğunu tespit etmişlerdir.

Demirboğa (1999) Silis dumanı ve uçucu külün, genleştirilmiş perlit ve pomza agregalarının çeşitli karışımlarıyla üretilen hafif betonlar üzerindeki etkilerini incelemiş, silis dumanı ve uçucu külle üretilen hafif betonların rötre ile donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiğini ve ısı iletkenlik değerleri ile birim ağırlıklarını azalttığını tespit etmiştir. Silis dumanının 28 günlük basınç dayanımını arttırırken, uçucu külün düşürdüğünü ortaya koymuştur.

Sağsöz (2007) doğal perlit agregalı betonlar üzerinde yapılan bir çalışmada hava ve su kürü için süre arttıkça basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Azizi (2007) hacimce değişik oranlarda genleştirilmiş perlit ve doğal kum kullanarak, hafif beton üretmiş, üretilen tüm perlit katkılı hafif betonların, normal betonlara kıyasla daha yüksek ısı yalıtımı sağladığını bildirmiştir.

Öztürk (2012) beton karışımında çeşitli oranlarda hafif agregalar ve EPS kullanarak üretilen hafif betonu incelemiş, hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonun, enerji verimliliği açısından büyük bir gelişim sağladığını tespit etmiştir.

Kiraz (2010) siklon külü ve uçucu kül kullanarak hafif duvar elemanı üretimini araştırmıştır. Çalışmada yalıtıma ve hafiflik amacı ile genleştirilmiş perlit kullanmıştır. Hazırladığı numuneler üzerinde mekanik, su emme, birim ağırlık ve ısı yalıtım değerlerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, üretilen duvar elemanının çok boşluklu ve hafif yapıda, su emme, mukavemet ve ısı yalıtım değerlerinin yeterli olduğu ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasının materyal bölümünde; bor ve bor atığı, perlit, kil ve tuğla hakkında bilgiler ve tez kapsamında numune hazırlanırken kullanılan ekipmanlar başlıklar halinde verilmiştir. Yöntem bölümünde; bor atığı ve perlit katkılı numune üretimi, üretilen numunelere uygulanacak fiziksel ve mekanik deneyler başlıklar şeklinde sunulmuştur.

3.1.1. Bor ve Bor Atığı

3.1.1.1. Bor elementinin tanımı ve genel yapısı

Arapça da Buraq/Baurach ve Farsça da Burah kelimelerinden türeyen (Buluttekin, 2008; Zorer vd., 2008), B simgesi ile gösterilen, periyodik tabloda III A grubunda yer alan, atom numarası 5 olan ametal tek elementtir (Altun, 2005). Bor, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir (Boren, 2018). Tabiatta serbest halde bulunmayan ve doğada bilinen yaklaşık 230 çeşidi olan bir mineraldir (Akyıldız, 2012). Bor elementinin fiziksel özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. *Borun fiziksel özellikleri*

Özellik	**Değeri**
Atom Ağırlığı	10.801+0.003
Erime Noktası	2190+20 ^{0}C
Kaynama Noktası	3660 ^{0}C
Isıl Genleşme Katsayısı (25-105 ^{0}C arası, 1 ^{0}C için)	5x10^6-7x10^6
Knoop Sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (Elmas-15)	11
Vickers Sertliği	5000 HV

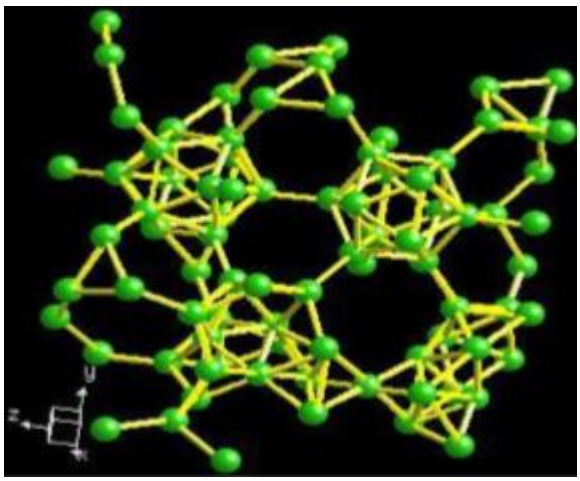
Bor elementinin erime noktası yaklaşık 2200 ^{0}C kaynama noktası ise 3660 ^{0}C'dir. Mohs sertliği 11 olan bor elementinin Knoop Sertliği 2100-2580 HK, vickers sertliği 5000 HV'dir.

Borun kimyasal karakteri, morfolojisi ve tane çapıyla ilişkilidir. Mikron boyutundaki amorf bor kolay bir şekilde reaksiyona girerken, kristalin bor kolaylıkla reaksiyona girmemektedir. Bor elementi yüksek sıcaklıktaki su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı yan ürünleri meydana getirir. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak ana ürün olan borik asit meydana gelir (Boren, 2018). Tablo 3.2' de bor elementinin atomik yapısı, Şekil 3.1'de kristal yapısı verilmiştir.

Tablo 3.2. *Bor elementinin atomik yapısı (Boren, 2018)*

Atomik Yapısı	
Atomik Çapı	1.17 Å
Atomik Hacmi	4.6 cm^3/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	1s2 2s2p1
İyonik Çapı	0.23 Å
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans Elektronları	2s2p1

Tablo incelendiğinde bor elementinin atomik çapının 1.17 Å, atomik hacminin 4.6 cm^3/mol, Elektron konfigürasyonunun $1s^2\ 2s^2\ 2p^1$, Yüksüz elektron sayısının 5, nötron sayısının 6 ve proton sayısının 5 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1. Bor elementinin kristal yapısı (Şahin, 2009)

Tablo 3.3'de verilen bor mineralinin kimyasal yapısı incelendiğinde; füzyon ısısının 50,2 kJ/mol, birinci iyonizasyon potansiyelinin 8,298, ikinci iyonizasyon potansiyelinin 25,154, üçüncü iyonizasyon potansiyelinin ise 37,93 olduğu görülmektedir.

Tablo 3.3. *Bor elementinin kimyasal özellikleri (Boren, 2018).*

Kimyasal Özellik			
Elektrokimyasal Eşdeğer	0,1344 g/amp-hr		
Elektronegativite (Pauling)	2,04		
Füzyon Isısı	50,2 kJ/mol		
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 8,298	İkinci: 25,154	Üçüncü: 37,93
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190		

3.1.1.2. Ticari öneme sahip bor mineralleri ve bileşikleri

Bor elementi, doğada ortalama 250'den fazla mineralin yapısında yer almaktadır (Dırak, 2011). Ticari açıdan bor mineralleri kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) elementleri ile hidrat bileşikleri şeklinde oluşumunu tamamlamış halde bulunmaktadır (Bütüner, 2011). Ekonomik değere sahip bor minerallerinin kalitesi yapılarında bulunan B_2O_3 ile bağlantılıdır. Bor minerallerinden ticari değere sahip olanları Tablo 3.4'de verilmektedir. Ekonomik açıdan önem arz eden bor mineralleri; Tinkal, Kolemanit, Üleksit, Probertit, Pandermit, Hidroborasit ve Kernit'tir (DPT, 2001).

Tablo 3.4. *Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri*

Yapı	**Mineral Adı**	**Kimyasal Formül**	**%B_2O_3 Oranı**	**Bulunduğu Yer**
Sodyum Borat	Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5	Kırka, Emet, Bigadiç, ABD.
	Kernit	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	51,0	Kırka, ABD, Arjantin
Kalsiyum Borat	Kolemanit	$Ca_4B_6O_{11}.5H_2O$	50,8	Emet, Bigadiç, ABD
	Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Sodyum-Kalsiyum Borat	Üleksit	$NaCaB_5O_9.\ 8H_2O$	43,0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
	Probertit	$NaCaB_5O_9.\ 5H_2O$	49,6	Kestelek, Emet, ABD
Magnezyum-Kalsiyum Borat	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.\ 6H_2O$	50,5	Emet

Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)

Bor sanayisinin en önemli minerali tinkaldir (Helvacı ve Orti, 2004). Tinkal, monoklinik kafes yapısında kristalleşen bir mineraldir (DPT 1995). Kalın ve kısa prizmalar formunda kristallere sahiptirler. Doğada çoğunlukla renksiz ve saydam olarak bulunurlar (Yıldız, 2008). Fakat yapısında bulunan bazı maddeler nedeniyle pembe, grisi ve sarımsı renkleri de mevcuttur (Sarıağaç, 2012). B_2O_3 içeriği %36.5 olan tinkal, 2- 2.5 mohs arasında değişen sertliğe ve 1.7 gr/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir (DPT, 2001). Kolay bir şekilde kırılan ve suda kolaylıkla çözünebilen tinkalin çözünürlüğü, çözelti miktarı ve suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır (Eti Maden İşletmeleri, 2009). Tinkal içeriğindeki suyu kaybederek tinkalkonite mineraline dönüşebilmektedir (DPT, 2008). Önemli Tinkal yatakları, Boron (ABD), Kırka (Türkiye) ve Tincalayu'da (Arjantin) bulunmaktadır (Akyıldız, 2015). Ülkemizde Eskişehir il sınırları içerisinde bulunan Kırka yataklarından çıkarılmaktadır (Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 2001).

Tuzlu bir tada sahip olan tinkal, tıp alanında koruyucu ve antiseptik yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca temizlik ve yıkamada, metal oksitlerin kaynaklanmasında ve

laboratuvar işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (DPT 2000). Tinkalin atomik reaktörler için nötron yakalayıcı ve roket yakıtı olarak kullanılması onu önemli ve stratejik bir konuma taşımaktadır (Özorak, 2014) Tüm bunların yanı sıra tinkal, gübre, emaye-sır, cam ve cam elyaf, zirai tarım ilaçları ve kozmetik alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Boren, 2018, Coşar, 2006). (Fotoğraf 3.1)

Fotoğraf 3.1. Tinkal mineralinin görünümü (Ulusoy, 2012)

- **Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$)**

Kernit, monoklinik kafes yapısında kristalleşen bir mineraldir (DPT 1995). Yapraksı ve çok büyük kristallere sahip kernit, tabiatta saydam uzunlamasına iğne şeklinde, saf ve renksiz halde bulunur (DPT, 2008). %51 oranında B_2O_3 içeriğe, 1.95 gr/cm^3 yoğunluğa ve 3 mohs sertliğe sahiptir (Eti Maden İşletmeleri, 2009). Soğuk suda az çözünmelerinin yanı sıra atmosferik şartlarında tinkalkonit'e dönüşürler (Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 2001). Dünya'da en fazla Arjantin ve ABD'de (Boron) bulunurlar (Ak, 2011) (Fotoğraf 3.2).

Fotoğraf 3.2. Kernit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

- **Kolemanit ($Ca_4B_6O_{11}.5H_2O$)**

Bor bileşikleri içinde en yaygın olan mineraldir (Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 2001). Kil mineralleri içerisinde bulunan cevher boşluklarında parlak, iri ve saydam kristaller şeklinde bulunur (Eyyüboğlu, 2013). Monoklinik kafes yapısında kristalleşen, renksiz, beyaz, şeffaf-yarı şeffaf ve beyaz çizgilerden oluşan yapıdadırlar (Coşar, 2006). 2,42 gr/cm^3 yoğunluğa, 4-4,5 mohs sertliğe ve %50 B_2O_3 içeriğine sahiptirler (DPT, 2001). Soğuk suda yavaş, sıcak hidrolik asitte ise hızlı çözünürler (Yıldız, 2008).

Dünya'da ABD'de, Türkiye'de ise Emet, Bigadiç, Susurluk, Kestelek, Kırka ve sultançayır borat yataklarında oluşmaktadır (Sarıağaç, 2012).

Nükleer atık depolama başta olmak üzere, cam elyafı, bor alaşımları, demir–çelik sanayiinde çeliğin sertliğini arttırıcı, metalurjik curuf yapıcı olarak endüstriye katılmaktadır (Boren, 2018) (Fotoğraf 3.3).

Fotoğraf 3.3. Kolemanit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

- **Pandermit ($Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$)**

Kil ve jips yataklarında, sıcak su kaynaklarının oluşturduğu çökeller içerisinde aragonirt ile birlikte meydana gelmektedir (Eyyüboğlu, 2013). Triklinik kafes yapısında kristalleşen, ince taneli yumrular formunda bulunmaktadır (DPT 2000).

Beyaz ve yekpare olarak görünen pandermit, %49,8 B_2O_3 içeriğine ve 2,4 gr/cm^3 yoğunluğa sahiptir (DPT, 2008). Kireçtaşına benzemektedir (Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 2001). Kolemanit ve kalsite dönüşme özelliği göstermektedir (Yıldız, 2008). Türkiye'de Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında bulunmaktadır (Eti Maden İşletmeleri, 2009) (Fotoğraf 3.4).

Fotoğraf 3.4. Pandermit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

- **Üleksit ($NaCaB_5O_9.\ 8H_2O$)**

Yüzey veya yüzeye yakın kesimlerde ve playa tipi göllerde bulunmaktadır (Helvacı ve Orti, 2004). Genelde kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile birlikte meydana gelmiştir (Akyıldız, 2015). Doğada masif, karnıbahar formunda, lifsi, rozet, pamuk yumağı ve sütun şeklinde bulunur (Eti Maden İşletmeleri, 2009). Üleksit, İpeksi parlaklık ve pamuk topları şekline sahip olma gibi karakteristik bir özelliğe sahiptir (DPT, 1995). Triklinik kafes yapısında kristalleşen, iğnemsi ve kılcal lif ve yuvarlak kütleler şeklinde bulunan, yoğunluğu 1,96 gr/cm^3 olan bir mineraldir (DPT, 2000). 2,5 mohs sertlik ve içeriği %43, B_2O_3 içeriği bulunmaktadır. Isıtıldığı zaman eriyerek beyaz renge dönüşen daha sonra saydam, kabarcıklı cama dönen ve alevi kırmızıya boyayan bir mineraldir (Özorak, 2014).

Dünyada Türkiye, ABD, Şili, Arjantin ve Peru'da (DPT, 2001), ülkemizde ise Kırka, Bigadiç ve Emet yataklarında bulunmaktadır (Yıldız, 2008). Üleksit, yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar ve gübre yapımında kullanılarak endüstride tüketilmektedir (Coşar, 2006) (Fotoğraf 3.5).

Fotoğraf 3.5. Üleksit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

- **Probertit ($NaCaB_5O_9.\ 5H_2O$)**

Probertit açık sarimsi ve kirli beyaz renklerde bulunurlar (Yıldız, 2008). Lifsi ve ışınsal formlu kristal yapıdadırlar (DPT, 2001). 5-50 mm kristal boyutlarına, %49,6 B_2O_3 içeriğine sahiptirler (Eyyüboğlu, 2013). İğdeköy yatağında kalın tabakalar halinde çıkarılırlar (Dırak, 2011). Ülkemizde Emet'te birincil, Kestelek yataklarında ise üleksitin yanında ikincil mineral olarak bulunurlar. (Sarıağaç, 2012) (Fotoğraf 3.6)

Fotoğraf 3.6. Probertit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

- **Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.\ 6H_2O$)**

Bir noktadan çıkan ışınsal ve iğne formundaki kristallerin gelişi güzel ve birbirini kesen kümeleri şeklinde bir yapısı bulunmaktadır (Eyyüboğlu, 2013). Lifsi bir dokuya

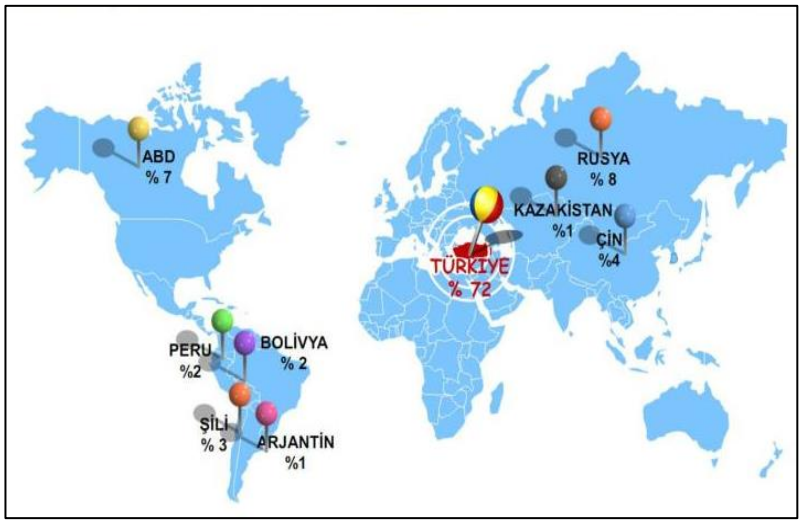
sahip hidroborasit, %50,5 oranında B_2O_3 içeriğine sahiptir (Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, 2001). Beyaz, bazen de içeriğine bağlı olarak sarı veya kırmızımsı renklerde görülürler (Eti Maden İşletmeleri, 2009). Yatak içerisinde kolemanit, üleksit ve probertit ile beraber bulunurlar (DPT, 2008). Türkiye'de İğdeköy ve Kestelek yataklarından çıkarılırlar (Sarıağaç, 2012) (Fotoğraf 3.7).

Fotoğraf 3.7. Hidroborasit mineralinin görüntüsü (Dırak, 2011)

3.1.1.3. Dünya'da bor rezervleri

Dünyada bulunan en önemli bor yatakları Asya kıtasında yer almaktadır (Kalafatoğlu ve Örs, 2003). Türkiye ve ABD dünya bor rezervinin ve üretiminin olduğu iki büyük ülkedir (Tübitak, 2003). Dünyada üretilen bor mineralinin yaklaşık %90'nı bu iki ülkede gerçekleşmektedir (Eti Maden, 2018). Fakat ABD bor rezervlerini uzun zamandır endüstrinin çeşitli alanlarında aktif bir şekilde kullandığı için, yakın zamanda bor rezervlerinin tükenmesi tehlikesi söz konusudur. Bu durumu göz önünde bulunduran ABD, kalan bor rezervlerinin belirli bir kısmını "stratejik rezerv" olarak tanımlayıp çıkarılmasını yasaklamıştır. Ülkemizde üretilen bor minerali kalitesinin ABD' dekinden yüksek olması ve çıkarma yasağından dolayı, ABD Türkiye'den yılda 350 – 400 bin ton ham ve işlenmiş bor minerali satın almaktadır. (Sarıağaç, 2012)

Rusya, Çin ve Kazakistan bor üreten diğer ülkeler arasında yer almaktadır (Roskill, 2006). Dünya'da üretilen borik asit rezervlerini gösteren harita Şekil 3.2'de rezerv dağılımı ise Tablo 3.5' de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Dünya'da önemli bor yatakları (Web ileti 1)

Dünya ticari öneme sahip bor rezervleri 4 bölgede toplanmaktadır.

Dünya bor rezervleri genellikle 4 bölgede toplanmaktadır (Eti Maden İşletmeleri, 2009) Bunlar:

- ABD'nin Kaliforniya Eyaleti'nin Güneybatısında yer alan "Mojave Çölü "
- Türkiye'yi de içinde bulunduğu "Güney-Orta Asya Orojenik Kemeri"
- Güney Amerika'da bulunan "And Kemeri"
- Doğu Rusya

Tablo 3.5. *Dünya'da borik asit rezervleri dağılımı (Boren, 2018)*

Ülke	**Toplam Rezerv (Bin ton B2O3)**	**Toplam Rezerv (% B2O3)**
Türkiye	953 300	72,8
Rusya	100 000	7,6
A.B.D	80 000	6,1
Çin	47 000	3,6
Şili	41 000	3,1
Sırbistan	24 000	1,8
Peru	22 000	1,7
Bolivya	19 000	1,5
Kazakistan	15 000	1,1
Arjantin	9 000	0,7
Toplam	**1 310 300**	**100,0**

Ülkemiz dışında diğer önem arz eden bor yataklarının bulunduğu bor rezerv dağılımı şöyledir;

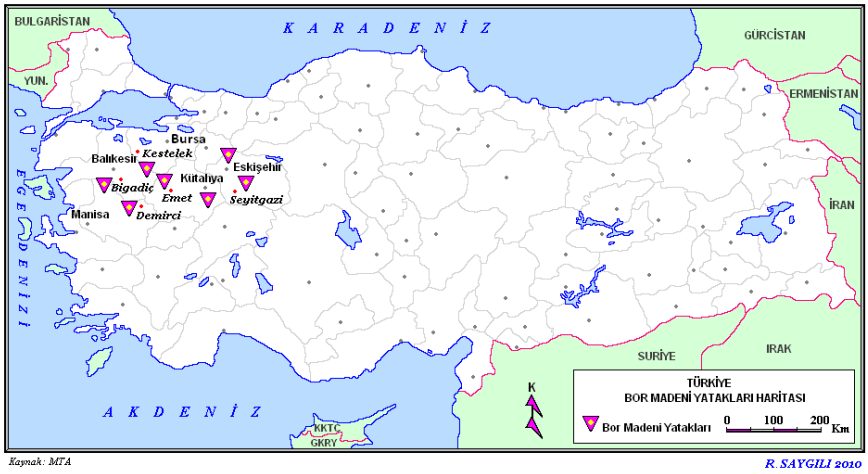
- Boron (Kramer) Yatakları, Kuzey Amerika: Yataklarda B_2O_3 bazında toplam 24,6 milyon ton bor rezervi bulunmaktadır. Rezervde bulunan tinkal tenörü %25,3-28 oranında B_2O_3 içerirken, %32 oranında B_2O_3 içeren kernit tenörü bulunmaktadır (Ak, 2011).
- Sırbistan: Sırbistan'da bulunan Jadar bor havzasından B_2O_3 bazında toplam 16,2 milyon ton bor üretimi yapılmaktadır.
- Fort Cady Kalsiyum Bor Yatağı Mojave Desert, Kaliforniya: Çölde yer alması, bulunan bor rezervinin B_2O_3 bazında düşük tenörlü olması ve yer kabuğunun 410 m derininde olması nedeniyle çıkarılması, işlenmesi oldukça zor ve yüksek maliyetlidir. Bu nedenlerde dolayı yatakta bor minerali üretimi gerçekleştirilmemektedir.
- Death Valley Bor Yatakları/Billie Mine: Günümüzde üretimi yapılmayan Death Valley bor yatakları üleksit, kolemanit ve propertit içermektedir (Mordoğan vd., 2001).
- Güney Amerika Bor Yatakları: And dağlarının yaklaşık 4 000 metredeki yüksek yerlerinde bulunduğu için çalışma mevsimi kısadır. Güney Amerika rezervleri B_2O_3 bazında tenörlüdür. Rezervlerinin büyük bir bölümünü üleksitten (sodyum kalsiyum borat bazdan) meydana gelmektedir.
- Tincalayu, Arjantin: Yatakta B_2O_3 bazında yaklaşık 300 bin ton tinkal ve kernit minerali bulunmaktadır. Salar de Surire Bor Cevheri Yatağı, Şili:
- Salar de Carcote ve Salar de Ascotan, Kuzey Şili: Yatakta B_2O_3 bazında yaklaşık 7 milyon ton üleksit rezervi bulunmaktadır.
- Asya Bor Yatakları: Asya yatakları içerisinde yer alan Çin ve Kazakistan'da B_2O_3 tenörü %8-10 arasında değişen magnezyum borat rezervi bulunmaktadır. Geniş doğal bor yataklarına sahip olan Çin'de çıkarılan bor tenörünün %90'dan fazlasının B_2O_3 oranı %12' daha düşüktür (DPT, 2008).
- Rusya Bor Yatakları: Rusya'da bulunan ve dünyada bilinen 3. önemli datolit bor yataklarından biri olan Dalnegorsk bor yatağı yaklaşık %9-12 oranında B_2O_3 tenörü sahiptir (Eti Maden, 2018; Dırak, 2011).

Türkiye %72,8'lik pay ile dünya toplam bor rezervi üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Dünya'da bulunan bor rezervi ve tüketim miktarları incelendiğinde, uzun yıllar boyunca bor cevheri sıkıntısı yaşanmayacağı sonucuna varılmaktadır (Eyyüboğlu, 2013).

3.1.1.4. Türkiye'de bor rezervleri

Dünyada bilinen bor rezervlerinin yaklaşık 803 milyon tonu Türkiye'nin batısından çıkarılmaktadır (Özdemir ve Öztürk, 2003). Ekonomik önem taşıyan bor mineralleri tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) ve üleksittir ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) Christogerou vd., 2009; Batar vd., 2009). Bu mineraller; borik asit, susuz borik asit, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat ve sodyum perborat gibi saf kimyasal bileşikler şeklinde üretilebilirler (Mobbs, 2004). Dünyada %72 gibi büyük bir paya sahip bor yatakları Eti Maden tarafından işletilmektedir (Christogerou vd., 2009).

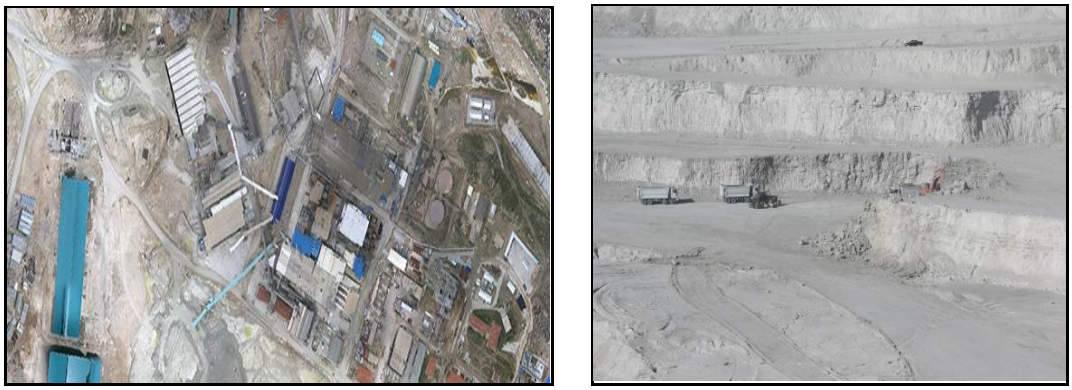
Ülkemizde bor yatakları Eskişehir'in Kırka, Bursa'nın Kestelek, Balıkesir'in Bigadiç ve Kütahya'nın Emet ilçelerinde bulunmaktadır (Şekil 3.3) (Yıldırım, 2014). Kırka'da tinkal, Emet'te ve Bigadiç'te kolemanit ve Bigadiç de üleksit yatakları bulunmaktadır (Bayca vd., 2008). Türkiye rezervlerinin %37'si Bigadiç/Balıkesir, %34'ü Emet/Kütahya, %28'i Kırka/Eskişehir ve %1'i Kestelek/Bursa bölgesinde yer almaktadır (Akyıldız, 2012).



Şekil 3.3. Türkiye bor yatakları haritası

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Eskişehir ili Seyitgazi ilçesi sınırları içerisinde bulunan Kırka bucağında yer almaktadır. Dünyanın bilinen en büyük boraks yatağı olan Kırka Sarıkaya Boraks yatağı, Türk vatandaşlar tarafından 1950-1960 yılları arasında alınan maden arama ruhsatı ile bor cevherini keşfetmişlerdir (Irmak, 2006).



Fotoğraf 3.8. Kırka bor işletmesi (Web ileti 2, 2018)

Fotoğraf 3.8'de verilen Kırka bor yatağında açık işletme yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Kırka bölgesinde tinkal, kolemanit ve üleksit çıkarılmaktadır. Ayrıca yatakta tinkalkonit, tünelit, kurnakovit, inyoit ve hidroborasit mineralleri de bulunmaktadır (Yıldız, 2008). Yatağın merkezi olan Sarıkaya boraks konsantrasyonunun en yoğun olduğu yerdir. Ortalama %24,7 oranında B_2O_3 tenörüne sahip Kırka yatağında toplam 520 milyon ton bor minerali çıkarılmaktadır (Helvacı, 2001). İşletmede üretilen ürünler;

- ✓ Tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)
- ✓ Etibor-48 (Boraks Pentahidrat) ($Na_2B_4O_7.5H_2O$)
- ✓ Etibor-68 (Susuz Boraks) ($Na_2B_4O_7$)
- ✓ Kalsine Tinkal (Sıkıştırılmış) (Dırak, 2011)

Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Kütahya ili Emet İlçesinin Espey ve Hisarcık İlçesinde kurulmuştur. Fotoğraf 3.9'da görülen yatak 1956 yılında MTA Jeoloğu Dr.Gawlik

tarafından tespit edilmiştir. 1958 yılına kadar MTA ya bağlı olan Emet bölgesindeki bor sahaları 1953 de Etibank'a devredilmiştir (Yıldız, 2008).

Fotoğraf 3.9. Emet bor işletmesi (Web ileti 3,2018)

Emet bölgesinde bulunan kolemanit, Espey ve Hisarcık Açık Ocakları açık işletme yöntemiyle çıkarılmaktadır. Yataklarda işletme bünyesindeki üretilen ürünler;

- ✓ Hisarcık Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)
- ✓ Espey Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)
- ✓ Borik Asit ($B(OH)_3$) (Dırak, 2011)

Emet borat yataklarında %40 oranında B_2O_3 içeren toplam rezervi 345 milyon ton kolemanit üretimi yapılmaktadır (Helvacı, 2001).

Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

Bigadiç bor işletme müdürlüğü Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde bulunan Osmanca köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Kolemanit, Muharrem Girgin isimli bir madencinin 1950 yılında topladığı örneklerin Dr. H. Yakal inceletmesiyle ortaya çıkmıştır (DPT, 2008). Fotoğraf 3.10'da görülen yatakta kurulu işletmede kolemanit ve üleksit konsantreleri üretimi yapılmaktadır (Helvacı, 2001).

Fotoğraf 3.10. Bigadiç bor işletmesi (Web ileti 4,2018)

Bigadiç'te 2005 yılından itibaren Tülü, Acep ve Simav açık ocakları bulunmaktadır. Bölgedeki bor yataklarında ortalama %30 oranında B_2O_3 içeren toplam 58 milyon ton kolemanit, ortalama %30 oranında B_2O_3 içeren toplam 11 milyon ton üleksit üretimi yapılmaktadır (Yıldız, 2008). Ocaktan çıkarılan zenginleştirilerek üretimi yapılan ürünler;

- ✓ Konsantre Bigadiç Kolemanit (2CaO.3B2O3.5H2O)
  - 3-125 mm Kolemanit Konsantresi
  - 25-125 mm Kolemanit Konsantresi
  - 3-25 mm Kolemanit Konsantresi
  - 0,2-3 mm Kolemanit Konsantresi
- ✓ Konsantre Bigadiç Üleksit (Na2O 2CaO 5B2O3 16H2O)
  - 3-125 mm Üleksit Konsantresi
  - 0,2-3 mm Üleksit konsantresi
- ✓ Öğütülmüş Bigadiç Kolemanit (-75 mikron)
- ✓ Öğütülmüş Bigadiç Üleksit (-75 mikron) (Dırak, 2011)

Kestelek Bor Başmühendisliği

Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü, Bursa ili Mustafa Kemal Paşa ilçesine bağlı Kestelek bölgesinde kurulmuştur. Fotoğraf 3.11'de görülen bölgede bir açık ocaktan sadece kolemanit minerali çıkarılmaktadır. Ocakta yan ürün olarak hidroborasit, probertit, meyerhafferit ve üleksit üretilmektedir (Eti Maden, 2018). Tesiste ortalama %29,4 oranında B_2O_3 içeren toplam 7 milyon ton kolemanit rezervi bulunmaktadır (Helvacı, 2001). Tesis ürünleri;

- ✓ Kestelek Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) (Dırak, 2011)

Fotoğraf 3.11. Kestelek bor işletmesi (Web ileti 5,2018)

3.1.1.5. Bor ürünleri kullanım alanları

Yaklaşık 500'e yakın kullanım alanına sahip bor mineralleri ve bileşiklerinin başlıca kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır (Erdoğmuş, 2006).

- ♦ **Cam Sanayi**

İnşaat, otomotiv, ev araç ve gereçleri, ilaç, elektrik-elektronik vb. birçok sanayi dalına girdi tedari eden cam sanayi, bor mineralinin en fazla kullanıldığı başlıca sektördür (Eyyüboğlu, 2013). Bor, maliyeti yüksek olmasından dolayı pencere camı, şişe camı gibi sanayilerde kullanılmak yerine özel cam imalatında kullanılmaktadır (Türk, 2012). Bor minerali cam içerisine rafine sulu/susuz boraks, borik asit ya da kolemanit/ boraks biçiminde katılır (Yıldız, 2008).

Bor ergimiş haldeki cama katıldığında camın yüzey sertliğini ve dayanıklılığını arttırırken vizikozitesini azaltmaktadır (Eti maden, 2018). Camın asitlere ve çizilmeye karşı dayanımını arttırmasının yanı sıra, ışığı kırma, yansıtma, parlama gibi özelliklerinin geliştirmektedir (DPT 2000). Bor oksitin cama ilave edilme miktarı camın tipine ve işlevine bağlıdır (Dırak, 2011). Pyrex isimli cam, otomobil, çamaşır makinası fırın gibi önemli araç ve gereçlerde kullanıldığı için cam içerisine %13,5 oranında B_2O_3 içeriği bulunan bor bileşiği ilave edilir (Boren, 2018).

Cam endüstrisinde borun kullanıldığı diğer ürünler; Cam elyafı, borosilikat camlar, optik lifler, cam seramikleri, şişe ve diğer düz camlar, cam yünü, düz panel ekran (LCD gibi) camların üretimi, fiber optiklerdir (Coşar, 2006).

- **Seramik Sanayi**

Bor minerali, seramik endüstrisinde sır ve emayelerde içerisine katılmaktadır (Eyyüboğlu, 2013). Camsı yapıda olan emaye ve sır malzemeleri kaplamak için kullanılmaktadır. Emaye, metal kaplamalarında, sır ise seramik araç ve gereçlerin kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır (Türk, 2012).

Seramik sırlarında mekanik gücü ve çizilmeyi engellemek için ağırlıkça yaklaşık %8-24 arasında kolemanit bileşiği kullanılırken, emayeye katılan bor minerali ise %17-32 arasında değişen sulu boraktır (Boren, 2018). Emayelerde %20'ye kadar borik asit ilavesi vizkositeyi ve ergime sıcaklığını azaltmaktadır (DPT 2000). Günümüzde kullanılan mutfak eşya, araç ve gereçlerinin büyük bir çoğunluğu emaye kaplıdır (Kurttepeli 2009).

Bor ürünleri, seramik ürünlerin mekanik ve kimyasal mukavemeti artırmaktadır (Erdoğmuş, 2006). Ayrıca ürünlerin fiziksel darbeler karşısında kırılma ve çizilme direncini arttırmakta ve kimyasal ortamlarda dayanımını güçlendirmektedir (Yıldız, 2008)

- **Temizlik Sanayi**

Bor minerali, mikrop öldürücü ve su yumuşatıcı etkisi özelliğinden dolayı sabun ve deterjanlara, %10 oranında katılmaktadır (Dırak, 2011). Ağartıcı etkisini artırmak için toz deterjanlara yaklaşık %10-20arasında değişen oranlarda aktif bir oksijen kaynağı olan sodyum perborat katılmaktadır. (Boren, 2018).

- **Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler**

Boratlar ve borik asit, ahşap, selülozik yalıtım ve PVC vb. malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Kurttepeli 2009). Bor minerali, malzeme tutuşma sıcaklığındayken ilk olarak selülozdaki suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha sonra malzeme yüzeyini kaplayarak oksijenle teması kesip malzemenin yanmasını engellemektedir (Özorak, 2014). Çinko borat, PVC malzemelerde, borik asit, boraks

pentahidrat ve boraks dekahidrat ise selülozik (tahta, kontraplak, ağaç fiber, kağıt ve pamuk gibi) malzemelerde kullanılmaktadır (DPT 2000).

- **Tarım**

Birçok bitkinin temel besin kaynağı olan bor minerali, bitkilerin gelişimini arttırmak/önlemek için tarım sektöründe aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Türk, 2012). Bor eksikliği görülen bitkilerde, bitkiye susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren gübre verilmektedir (Erdoğmuş, 2006). Ot ya da toprağın temizlenmesi gerektiğinde ise toprağa sodyum klorat ve bromosol gibi bileşikler karıştırılarak temizlik işlemi gerçekleştirilmektedir (DPT 1995).

Bor, sebzelerin kalitesini ve gelişmesini olumlu yönde etkilemektedir. Sebzelere bor minerali uygulandığında, hücre içi şeker ve nişasta transferlerinde, besleyici maddelerin bitki içerisindeki dolaşımında, büyümeyi etkileyen hormonların oluşumunda ve salgılanmasında, kök, çiçek ve tomurcuk oluşumu ve gelişiminde artış meydana gelmektedir (Dırak, 2011).

Bor elementi meyve ağaçlarının gelişimi vazgeçilmez bir mikro besleyici mineraldir. Yeterli dozajda bor içeren bir meyve ağacının, çiçek açma ve meyve kapasitesinde artış ve meyvenin içinde ve kabuğunda oluşan yaralanma ve çürümelerde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gelişmemiş dalların sayısında azalma ve bu azalmaya bağlı olarak daldan düşen meyve sayısında azalma meydana gelmektedir (Boren, 2018).

- **Metalurji Sanayi**

Yüksek sıcaklıklarda yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özelliklerine sahip bor bileşikleri, demir dışı metal sanayinde aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Boren, 2018). Bor bileşikleri aynı zamanda koruyucu cüruf oluşturucu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak da metalürji sanayide kullanılan bileşikler arasında yer almaktadır (Türk, 2012). Çelik bünyesine 50 ppm düzeyine kadar bor katıldığında çeliğin sertlik ve mukavemetini artığı görülmektedir (Yıldız, 2008).

- **Enerji Depolama Sanayi**

Gündüz güneş enerjisini depolayıp, gece ısınma amacıyla kullanılmak üzere üretilen üretilmiş olan termal depolama pillerinin yapımında bor bileşikleri kullanılmaktadır

(Özorak, 2014). Termal depolama pilleri; su, sodyum ve sülfat ile yaklaşık %3 oranında boraks dekahidratın kimyasal karışımından meydana gelmektedir (Kurttepeli 2009). Güneş enerjisinin depolanmasında, otomobillerde yakıt hücreleri ve güneş pillerinde koruyucu olarak bor mineralleri ve bileşikleri karşımıza çıkmaktadır (Coşar, 2006). Bunların yanı sıra binalarda tavan malzemesine ikame edildiğinde güneş ışınlarını absorbe ederek binanın ısınmasında önemli bir rol oynamaktadır (DPT 1995).

- **Otomobil Sanayi**

Bor minerali, otomobillerde bulunan hava yastıklarının şişmesine yardımcı madde olarak otomobil sanayinde kullanılmaktadır. Bor sayesinde çarpışma anında hava yastıkları yaklaşık 40 milisaniye gibi kısa bir sürede açılmaktadır. (Özorak, 2014)

Hidrojenle çalışan arabaların hücre yakıtlarında, hidroliklerde, otomobillerin plastik, metal ve çelik aksamlarında kullanılmaktadır (Türk, 2012)

- **Atık Temizleme Sanayi**

Bor bileşikleri atık sularda bulunan civa, kurşun gibi ağır metallerin temizlenmesinde kullanılmaktadır. Sodyum borohidrat temizleme işlemi için kullanılan en önemli bor mineralidir (Yıldız, 2008).

- **Sağlık**

Bor, insan vücudu tarafından az oranda ihtiyaç duyulan, hücrelerde sentezlenemediği için besinler vasıtasıyla dışarıdan alınan bir mineraldir (Coşar, 2006). Metabolizmada bulunan bor minerali, kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini ayarlayarak sağlıklı kemiklerin oluşumuna, kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişimine fayda sağlamaktadır (DPT, 2001).

Bor, osteoporoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, menopoz tedavisinde kullanılmaktadır (Yıldız, 2008). Ayrıca Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT) özellikle beyin kanseri tedavisinde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanserli hücreler imha edilmektedir (Boren, 2018).

- **İnşaat Sektörü**

%8 oranında kolemanitin çimento üretimine katılması ile klinker pişirme sıcaklığında düşüş ve çimento özelliklerinde iyileşme meydana gelmektedir. Mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidratasyon ısısı yönünden borlu üretilen çimento, portland çimentosuna göre daha iyi özelliklere sahiptir (Coşar, 2006). Borun hidratasyon ısısını düşürmesi kütle betonlarında soğutma ihtiyacını ciddi ölçüde düşürmektedir. Ayrıca çimento üretiminde bor kullanımı atmosfere salınan karbon dioksit miktarını %25-30 oranında azaltmaktadır (Boren, 2018).

Bor ürünleri çatı ve bina kaplamaları ve selülozik izolasyonda da kullanılmaktadır. Shingle adı verilen çatı kaplama malzemeleri bor mineralleri ile üretilmektedir. (Erdoğmuş, 2006)

- **Bor Mineralinin Diğer Kullanım Alanları**

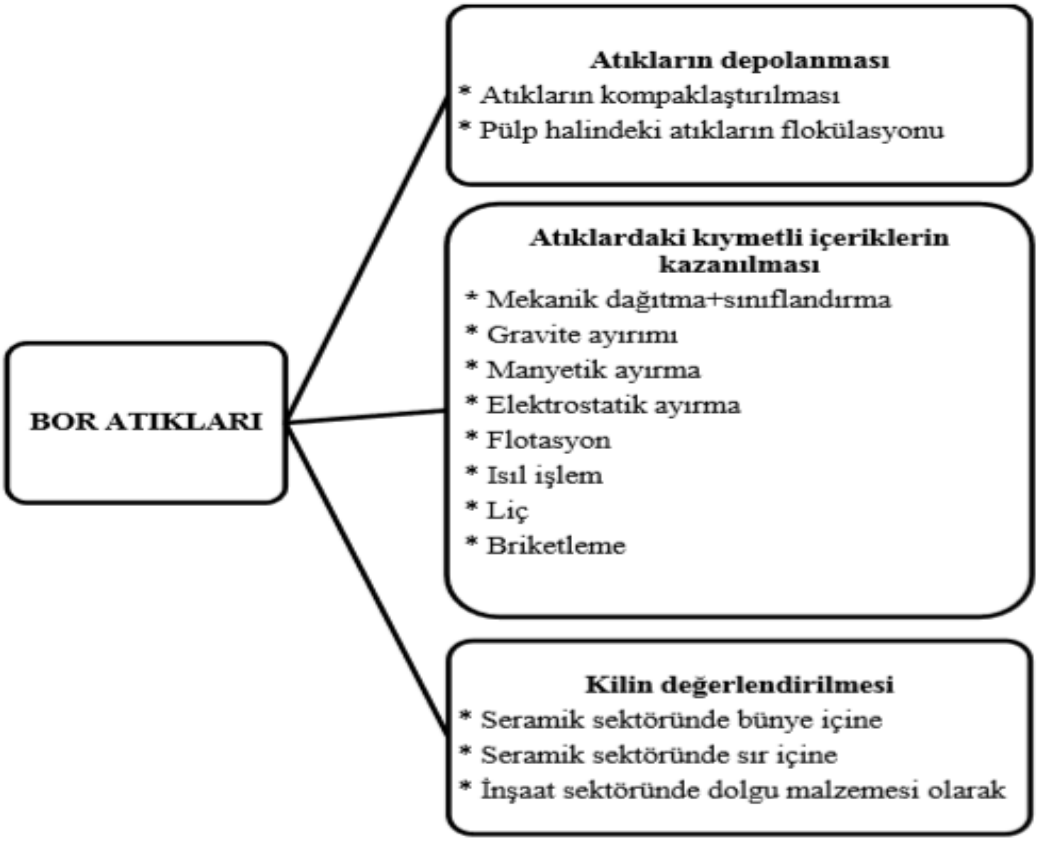
Ahşap malzeme korunmasında, döküm çeperlerinde refrakter malzeme olarak, deri sanayinde kireç çöktürücü madde olarak, araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek bor mineralleri kullanılır. Ayrıca fiber optik, kozmetik, kauçuk ve plastik sanayii, fotoğrafçılık, patlayıcı maddeler (havai fişek vb.), hidrolik yağlar, petrol boyaları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaları, zımpara ve aşındırıcılar, kompozit malzemeler, manyetik cihazlar, mumyalama ve diğer birçok alanda bor bileşkleri endüstriye katkı maddesi olmaktadır (Helvacı, 2005, Akyıldız, 2015).

3.1.1.6. Bor atıklarının değerlendirilmesi

Bor atığı dediğimiz sodyum borat kökenli mineraller, su ile birlikte çamur oluşturarak bor işleme tesisleri içerisindeki göletlerde toplanmaktadır. TSW dediğimiz katı atıklar bünyelerinde %20-25 oranında B_2O_3 içerdikleri için göletlerden alınarak zenginleştirme işlemlerine tabi tutulurlar (Bentli, 2002).

Ülkemizde her yıl bor mineralleri üretimi sırasında 3 500 000 ton atık meydana gelmektedir. Bu atıkların depolanacak yer bulunamaması, hava, toprak, su kirliliği, doğanın tahrip edilmesi gibi sorunları bor işleme tesislerinin neden olduğu çevre sorunları arasında yer almaktadır (DPT, 2008). Bu sorunların önüne geçilmesi için

atıkların değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bor atıklarının değerlendirme yöntemleri Şekil 3.4'de verilmiştir (Erkan vd., 2003).



Şekil 3.4. Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler (Bentli, 2002)

Bor atıklarının değerlendirilmesi; Atıkların depolanması, atıklardaki kıymetli içeriklerin geri kazanılması ve kilin değerlendirilmesi olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır. (Sağlam ve Emrullahoğlu, 2004)

Atıkların Depolanması

Bor minerali atıkları, atıkların kompaklaştırılması ve pülp halindeki atıkların folükülasyonu şeklinde depolanırlar (Özdemir vd., 2003).

Atıklardaki Kıymetli İçeriklerin Geri Kazanılması

Atıklar içerisinde bulunan kıymetli bor minerallerinin; Mekanik dağıtma+sınıflandırma, gravity ayırımı, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, flotasyon, ısıl işlem, liç veya briketleme yöntemleriyle geri kazanımı sağlanmaktadır.

Atıkların Uygun Sektörlerde Kullanılması

Göletlerde depolanan bor atıkları yüksek miktarda montmorillonite, illit ve vermicullit gibi kil mineralleriyle birlikte bulunurlar (Batar vd., 2009). Kil içeriğinin zengin oluşu, atıkların seramik, tuğla ve çimento sektöründe kullanılmasını sağlamıştır (Yaman, 1997). Atıklar;

- Seramik ve tuğla endüstrisinde,
- Duvar karosu üretiminde,
- Yer karosu üretiminde,
- Çimento üretiminde kullanılmaktadır (Dırak, 2011)

Bor Atıklarının Değerlendirilmesinden Elde Edilecek Avantajlar;

- Mevcut stoklar ülke ekonomisine kazandırılacaktır.
- Stoklama maliyetleri düşecektir.
- Çevreye verilen zararlar hafifletilecektir.
- Yeni bir ürün veya mevcut ürünlerin iyileştirilmesi sağlanacaktır.
- Atıkların değerlendirilmesiyle ek kazanç sağlanacaktır.
- Atık depolamak için kullanılan göletlerin kapladıkları alanlar küçülecektir (DPT, 2008, Bentli, 2002)

3.1.2. Perlit

3.1.2.1. Perlitin tanımı ve genel yapısı

Perlit, "perlstein" kelimesinden türeyen ve bazı perlit tiplerinin kırılması ile inci parlaklığında küçük küreler oluşmasından dolayı inci taşı denilen yapı materyalidir (Neufert 1983). Perlit; SiO_2'ce zengin, çok sayıda konsantrik yarıkları olan (Özgenç ve Sarısözen, 1999), uygun bir sıcaklığa ani olarak ısıtılınca çok hafif ve gözenekli bir hale geçen (Orhun ,1969; Kuzvart, 1984), çoğunlukla %70-75 SiO_2, %12-20 Al_2O_3 ve eser miktarda farklı mineral bileşikleri içeren asidik yapıya sahip (Khanjarkhanı, 2014), püskürük camsı volkanik kayaçlara denir (MTA, 1985; TS 3681, 1982).

Yüzyıllardır bilinen bir malzeme olmasına karşın, ilk olarak 1941 yılında Amerika'nın Arizona eyaletinde devasa bir ölçekte genleşebilen karaktere sahip olduğu tespit

edilmiştir. Perlit hakkındaki incelemelere çıkan savaşlar nedeniyle ikinci dünya savaşından sonra devam edilmiştir (Barnes, 1962). Dünya da perlit sanayisi 1947 yılından sonra ivme kazanmıştır. Amerika'da yaşanan bu gelişmeye Batı Avrupa ve Japonya'da bu sanayinin kurulmasına ve gelişmesine liderlik yapmışlardır (Orhun, 1969). Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda perlit ile ilgili inceleme, araştırmalar ve ilk üretim ile ihracatı başlamıştır (İzdar, 1975). Ayrıca 19 Ocak 1967 tarihli 12505 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan yazıyla maden kanununa eklenmiştir (Tiber, 2011).

Çeşitli perlit kayaçlarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilmektedir (DPT, 2001; Aker, 2011). Bu bakımdan perliti gözle tanımak oldukça zordur (DPT, 2004). Amorf yapıya sahip ve alüminyum silikat olan ham perlit; saydam, açık griden parlak siyaha kadar değişen bir renk yelpazesine sahiptir (Sağsöz, 2007). Genleşen perlit ise beyaz renge dönüşmektedir (Çok vd., 2003). Hidrasyona uğramış camsı silika yapıya sahip ham perlitin (Alkan ve Doğan, 2001), en önemli özelliği bünyesinde %2 ile %6 oranında bulunan sudur (Katrancı ve Türkmen, 2005; Breese ve Barker, 1994), Bu su perlitin kararlı bir yapıda olmasını sağlamaktadır (DPT, 2004). Ayrıca perlit, inci parlaklığına ve soğan kabuğu dokusuna sahip olma özelliği ile diğer asidik volkanik camlardan ayırt edilmektedir (Hodul, 2009).

Genleştirilmiş perlit âtıl ve yanmayan bir malzeme olmasının yanı sıra düşük nem emilimi gibi karakteristik bir yapıya sahiptir. (Kaya, 2016).

Perlitin genleşme özelliği onun en önemli avantajı olmaktadır. Ham perlit genleştirme işlemi sırasında, 750-1200 °C arasında birkaç saniyede ani olarak ısıtıldığında (Katrancı ve Türkmen, 2005), kayaç içindeki su, su buharı formuna geçerek perlitin genleşmesini sağlamaktadır (Kiraz, 2010). Üretilen bu çok gözenekli ve hafif malzemeye genleşmiş perlit adı verilmektedir (Barker ve Santini, 2006). Genleşen tanecikler içinde milyonlarca hava boşluğu oluşmaktadır (DPT, 2001). Oluşan bu boşluklar perlitin hacmini 4-30 kat arttırırken, yoğunluğunu ters orantılı olarak büyük ölçüde azaltır (Khanjarkhanı, 2014). Perlitin bu özelliğinden dolayı, istenilen ebatlarda malzeme çok kısa sürede ve minimum enerji harcanarak üretilebilmektedir (Okuyucu, 2005).

Genleşmiş perlit malzemesi mükemmel bir termal ve akustik yalıtıcı özelliğe sahiptir. Ayrıca ateşe karşı dayanıklı ve çok düşük birim ağırlığa sahip bir yapı malzemesidir.

Perlit kayaçları çoğunlukla %70'den daha fazla silisyum içeriğine ve adsorbe etme kabiliyetine sahiptir (Kalaycı, 2016).

3.1.2.2. Perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Perlit minerali bünyesinde bulunan gözenekler birbiri ile bağlantılı bir şekilde dizilmiştir. Perlitin içerdiği gözenekler camsı bir zarla yalıtılmış olup gözle görülebilecek boyutlardan (DTP, 2001), mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda değişim göstermektedir. Bu sebepten dolayı, suda bile yüzme özelliği olan, yalıtımı yüksek hafif bir kayaçtır.

Perlitin fiziksel yapısı, ince taneli, boşluklu, gevşek, kolay kırılabilen, el içerisinde kolaylıkla ufalanabilen özellik taşımaktadır (Sağsöz, 2007). Soğan kabuğu şeklinde, ufak parçalara ayrılmış camlar halinde bulunurlar (MTA, 1985). Petrografik doku görünümüne göre perlit; taneli perlit, feno kristalli perlit, lifli perlit ve kum halinde perlit (bezelye büyüklüğünden, portakal iriliğine kadar değişen boyutlarda) bulunan perlit olarak sınıflandırılmaktadır (Kalaycı, 2016).

Perlitin en önemli özelliği bünyesinde su bulundurmasıdır. Bünyesinde bulunan bu suya bağlı su denilmektedir. Bu bağlı suyun %94-98'i, ince kılcal damarlar tarafından tutulmaktadır. Damarlar yoluyla bünyede barınan bu su serbest su niteliğindedir (Keskin, 2016). Geri kalan %2-6 kadar su ise etkin suyu oluşturmaktadır. Etkin su, perlitin %90-97'sini oluşturan volkanik camın içinde, perlit minerali meydana gelirken moleküller halinde girerek perlit camıyla birleşmiştir. Etkin suyun oluşumu nedeniyle cam kütle kristalleşememekte, böylece perlit de kararlı halini sürdürmektedir (Önem, 2000).

Perlitteki bünyesinde "Serbest Su" olarak bilinen suyun %98-99 kadarı 350 °C ye kadar ısıtıldığında buharlaşmaktadır. Geri kalan %1,2 kadar olan ve "Efektif Su" olarak adlandırılan su ise 750 °C – 1100 °C arasında bünyeyi terk etmektedir. Perlitin genleşme yeteneği kimyasal yapısının yanı sıra efektif su miktarına göre de değişmektedir. Perlit 750 °C - 900 °C arasında genleşiyorsa "Aktif Perlit", 900 – 1000 °C arasında genleşiyor ise "Pasif Perlit" adını almaktadır (Aker, 2011)

Perlit kelimesi hem ham perlit hem de ham perlitin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasıyla oluşturulan genleştirilmiş perlit için kullanılan bir terimdir. (Sağsöz,

2007). Ancak, ham perlit ve genleştirilmiş perlit farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sahiptir (Azizi, 2007). Ham perlit ve genleştirilmiş perlit birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahiptir (Köktürk, 2002). Perlit; hidroflorür asitte ve sıcak konsantre alkali çözünmektedir (Tiber, 2011). Ham ve genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri Tablo 3.6'da verilmektedir (DPT, 2001, Çiçek, 2002).

Tablo 3.6. *Ham ve genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri*

Ham Perlit	**Renk**	Siyah ve grinin tonları
	Özgül ağırlık (kg/m^3)	2 200-2 400
	Birim ağırlık (kg/m3)	950-2 700
	Yumuşama noktası (^{0}C)	871-1 093
	Erime noktası (^{0}C)	1 260-1 343
	Özgül ısı (kcal/kg ^{0}C)	0,20-0,23
	Sertlik (Mohs)	5-6
	pH	6,6-8,0
	Serbest nem (%) maks.	0,5
	Ağırlık kaybı (%)	0,5
	Çözünme özelliği	Sıcak konsantre alkali ve Hidroflorür asit (%2), konsantre mineral asitlerde az, seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir.
Genleştirilmiş Perlit	**Renk**	Beyaz
	Özgül ağırlık (kg/m^3)	55-300
	Birim ağırlık (kg/m3)	30-250
	Erime noktası (^{0}C)	1 300
	Isıl iletkenliği (W/m^{2}K)	0,04
	Isıl genleşme (W/mK)	$4x10^{-6}$-$11x10^6$
	Ateşe karşı dayanım (m/m K)	Yanmaz
	Ses yutma (dB)	0,60
	Sertlik	5-6 mohs
	Yumuşama noktası	871-1 093^{0}C
	Refraktif indeks	1,5
	Asitte çözülme özelliği	Konsantre sıcak alkali ve hidrolik asitte çözünür. Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2). Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1).

Ham perlitin özellikleri:

- **Renk:** Perlit şeffaf açık griden camsı siyaha kadar değişen bir renk skalasına sahiptir (Tanaçan 1993).
- **Özgül ağırlık:** Özgül ağırlığı 2,2-2,4 g/cm^3 arasında değişmektedir (Toydemir 1968; Tanaçan 1993).
- **Birim Hacim Ağırlık:** Perlitin birim hacim ağırlığı 950-2 700 kg/m^3 arasında bir değere sahiptir (Sağsöz, 2007).
- **Porozite:** Çok boşluklu bir yapıya sahip perlitin porozite değeri yaklaşık %90'dır.
- **Sertlik:** Ham perlitin sertliği 5,5-7,0 mohs arasında bir değerdedir (Tanaçan 1993).
- **Özgül ısı:** Ham perlitin özgül ısısı 0.20-0.23 kcal/kg°C arasında değişmektedir (Toydemir 1968; Büyükçulha 1987).
- **Su emme:** Perlitin su emme değeri %20-35 arasında değişmektedir (Gündüz 1998).
- **Erime noktası:** Ham perlit 800-1100°C arasında yumuşamaya başlamakta, 1315-1390°C arasında da erimektedir (Toydemir 1968)

Ham ve genleştirilmiş perlit, bileşimlerinde bulunan farklılıklardan dolayı ayrı özelliklere sahiptirler (Khanjarkhanı, 2014). Perlit bünyesinde nitrat, radyoaktif element, fosfor, sülfat, ağır metal ve organik madde içermediğinden dolayı kimyasal olarak saf bir yapı malzemesidir (Kaya, 2016).

Genellikle volkanik camdan oluşan perlitin hamuru incelendiğinde, mikrolitler ve fenokristaller ile sperolitler bulunduğu görülmektedir (Aker, 2011). Amorf ve alüminyum silikat yapıda olan perlit hacminin %90-97'si cam, %3-10'unu kristalleşmiş minerallerden (feldspat, biyotit) meydana gelmektedir (Tanaçan, 1993). Perlitin yapısal karakterizasyonunu belirlemek için yapılan XRD analizlerine göre, perlitin %1-%4 oranında serbest silis içerdiği tespit edilmiştir (Fındık, 2007). Tablo 3.7'de perlit mineralini oluşturan bileşikler verilmiştir.

Tablo 3.7. *Perlitlerin kimyasal özellikleri (Topçu ve Işıkdağ, 2007)*

Bileşim	**Miktar (%)**
SiO_2	71,0–75,0
Al_2O_3	12,5–18,0
Na_2O	2,9–4,0
K_2O	0,5–5,0
CaO	0,5–2,0
Fe_2O_3	0,1–1,5
MgO	0,02–0,5
H_2O	2,0–5,0
MnO_2	0,0-0,1
SO_3	0,0-0,2
FeO	0,0-0,1
Cr	0,0-0,1

Perlitin fiziksel ve kimyasal yapısı, lavın bileşimine, püskürme tipine, soğuma ve katılaşma hızına, lavın vizkositesindeki değişimi ile ilişkilidir. Perlitin viskozitesi, içeriğindeki Na_2+K_2O miktarı ile orantılıdır. (Aker, 2011)

Ayrıca perlit bünyesinde az miktarda TiO_2, FeO, MnO_2, SO_3, Cr ve serbest olarak Si bulunmaktadır (Köktürk, 2002).

Perlit kayacının kimyasal yapısı çıkarıldığı ülkelere hatta aynı ülke sınırları içerisinde çıkarıldığı yatağa göre farklılık göstermektedir. Tablo 3.8 incelendiğinde farklı ülkelerde bulunan perlitlerin kimyasal bileşimindeki farklılıklar daha net görülmektedir (Harben ve Kuzwart, 1997).

Tablo 3.8 *Perlitin farklı ülkelerdeki kimyasal bileşimi (%) (Harben ve Kuzwart, 1997)*

	ABD Arizona	**ABD N. Mexico**	**Yunanistan Milos**	**İtalya Sardinya**	**Macaristan**	**Bulgaristan**
SiO_2	73,6	74,1	73-74	72,8	73,5	72-75
Al_2O_3	12,7	13,3	12-15	13,8	13	13-15
Fe_2O_3	0,7	1,8	0,7-1,2	2,1	1,8	1,5
CaO	0,6	1,5	0,7	0,9	1,5	1
MgO	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6
K_2O	5	3,8	3,0-4,8	---	3,8	4,8
Na_2O	3,2	3,5	3,4-4,1	3,3	3,5	2,7
TiO_2	0,1	0,05	0,06	0,3	---	---
H_2O	3,8	3	2,5	NA	3	3-6

Ham perliti genleştirme işlemi öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin uygulanması ile başlamaktadır. Öğütülüp boyutlandırılan ham perlite, 400 ^{0}C'ye kadar ön ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Ön ısıtmadan sonra perlit 750-1200 ^{0}C arasında ani olarak ısıtılıp bünyesinden çıkan su buharının etkisiyle genleştirilir. Perlit genleşirken camsı tanelerden oluşan bir köpük agregası meydana gelmektedir (Keskin, 2016). Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra ilk hacminin yaklaşık 20 katına kadar genleşen perlite, genleştirilmiş perlit adı verilmektedir (DPT, 2001). Genleştirilmiş perlit, hafif, yumuşak, hücresel yapıda olup ponza mineraline benzemektedir (Keskin, 2016).

Perlitin genleşmesi; bünyesinde bulunan su içeriğine, kimyasal yapısına, Ca, Na ve K miktarına, fırına besleme hızına, fırına beslenen perlitin tane iriliğine, fırın sıcaklığına, yumuşama sıcaklığına, parçaların ateşte kalma sürelerine bağlıdır (Tiber, 2011). Ayrıca fırının bulunduğu ortamdaki nem, hava basıncı ve hava sıcaklığı ile de doğrudan ilişkilidir (Barker ve Santini, 2006).

3.1.2.3. Dünya'da perlit yatakları

Camsı volkanik bir kayaç olan perlitin, dünya üzerindeki dağılımı, volkanların bulunduğu bölgelerle paralellik göstermektedir. Dünyada bulunan perlit yatakları 3 kuşağa ayrılmıştır (Köktürk, 2002).

- Akdeniz volkanik kuşağında bulunan perlit yatakları (Türkiye, Fransa, İtalya, Çekoslovakya, Yugoslavya, Yunanistan, Rusya)
- Atlantik volkanik kuşağında bulunan perlit yatakları (İzlanda Adası, Mozambik)
- Pasifik volkanik kuşağında bulunan perlit yatakları (ABD, Yeni Zelanda, Filipinler, Avustralya, Japonya, Meksika)

Yunanistan, Türkiye, Amerika, İtalya, Rusya, Japonya perlit üretimi yapan ülkeler arasında yer almaktadır (Bolen, 2004; Barker ve Santini, 2006). Türkiye, Yunanistan ve İtalya, Avrupa'ya ihraç edilen perlitin büyük bir kısmını üretmektedir (Breese ve Barker, 1994). 2005-2010 yılları arsında yapılan perlit üretimi Tablo 3.9'da verilmiştir (Bolen, 2011).

Tablo 3.9. *Ülkelerin perlit üretim miktarları (1,000 ton)*

	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Yunanistan	508	454	409	434	348	375
Amerika	525	525	525	525	525	500
Türkiye	145	140	71	70	65	65
Japonya	240	240	240	230	220	220
Macaristan	195	100	41	54	54	50
Meksika	140	145	270	270	230	220
Diğer Ülkeler	200	205	204	205	209	230
Toplam	**1,950**	**1,810**	**1,760**	**1,790**	**1,650**	**1,700**

3.1.2.4. Türkiye'de perlit yatakları

Dünya üzerindeki perlit yataklarının büyük bir kısmı Türkiye'de sınırları içerisindedir (Houssa, 1999; Barker ve Santini, 2006). Ülkemizde bulunan önemli perlit yatakları Tersiyer-Erken orta Kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde görülmektedir (Çelik, 2010). Perlit;

- Doğu Anadolu'da yoğun bir şekilde bulunan Sarıkamış perliti genç neojen riyolitik volkanizmalarının akıntıları ile meydana gelmiştir. Riyolit lavların, riyolitik tüf ve diğer volkanik tortular arasında geniş sahalara dağılmıştır (Kalaycı, 2016).

- İç Anadolu'da bulunan Nevşehir perlitleri, Acıgöl krateri etrafında plio-kuvaternere bünyesinde tali domlar formundadır (DPT, 2004).
- Ege Bölgesi perlitleri, Menderes ve Karaburun kütleleri arasında bulunan mesozoik bir kıvrımın miyosen riyolitik volkanizmaları ile bağlıtılıdır. Kesintili bir şekilde 10 km uzanan Menderes (Cumaovası) perlitleri, Murattepe ile Karadağ arasında bulunmaktadır. Perlit yatakları 25–90 m arasında değişen derinliğe sahiptir (Balay, 1992).

Ankara-Kızılcahamam ve Çubuk, Erzincan-Mollaköy, Çankırı-Orta, Balıkesir-Savaştepe ve Sındırgı, Erzurum- Pasinler, İzmir-Bergama, Nevşehir Acıgöl ve Derinkuyu, Cumaovası, Dikili ve Foça, Kars-Sarıkamış, Bitlis-Tatvan, Van-Erciş ve Malatya-Pötürge Ülkemizde bulunan orta-iyi kalitede perlit yataklarıdır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. *Türkiye perlit rezervleri (DPT, 2001)*

Bölge	**Rezerv (Bin Ton)**
Ankara-Çamlıdere	8 000
Ankara-Çubuk	32 000
Ankara-Kızılcahamam	34 200
Balıkesir-Evrind	25 000
Balıkesir-Savaştepe-Sındırga	47 000
Bitlis-Adilcevaz-Tatvan-(Van-Erciş)	1 400 000
Çankırı-Orta	30 000
Çanakkale-Biga	3 400
Eskişehir-Seyitgazi	20 000
Erzincan-Merkez-Mollaköy	27 000
Erzurum-Pasinler	100 000
İzmir-Bergama	16 500
İzmir-Dikili	8 000
İzmir-Foça	16 500
İzmir-Menderes (Cuma Ovası)	60 000
Kars-Sarıkamış	1 500 000
Manisa-Demirci-Soma	18 600
Manisa-Saruhanlı	18 000
Nevşehir-Acıgöl	862 000
Nevşehir-Derinkuyu (Niğde-Gölcük)	350 000
Toplam	**4 576 200**

Ayrıca Kars-Göle bölgesinde önemli miktarda perlit cevherinin olduğu bilinmektedir (Kalaycı, 2016). Türkiye perlit rezervi açısından oldukça zengin olmasına rağmen ülkede perlit talebi oldukça azdır. Bu durum üretilen perlit mineralinin büyük bir kısmının ihraç edilmesine neden olmaktadır (Azizi, 2007).

3.1.2.5. Perlit kullanım alanları

Türkiye, dünyanın en fazla perlit yataklarına sahip olmasına rağmen, perlitin değerlendirilmesi konusunda fazla çalışma yapılmamıştır (Tiber, 2011). Sürekli gelişim gösteren perlit malzemesi, çok geniş kullanım alanına sahiptir (Köktürk, 2002). Hem ham perlit hem de genleştirilmiş perlit, fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı;

- İnşaat sektörü
- Tarım sektörü
- Sanayi sektörü
- Diğer uygulamalar da kullanılmaktadır (Kaya, 2016).

Dünyada tüketilen perlit malzemesinin %35'i sıva agregası, %25'i beton agregası, %23'ü filtre malzemesi olarak, %8'i yalıtım malzemesi üretiminde, %4'ü tarım ve %5'i diğer sektörlerde kullanılmaktadır (MTA, 1985). Ayrıca uygulamalarda perlit malzemesi, %51 oranında yapıda inşaat malzemesi olarak, %15 dolgu maddesi, %14 bahçe agregası, %10 filtre yardımcı malzemesi olarak tüketilmektedir. Geri kalanı %10'luk dilim ise özel yalıtım ve filtre malzemesi olarak tüketilmektedir (U.S. Department of Interior, 2015).

Genleştirilmiş perlit, az hacimde düşük yoğunluk, elastik özellik, kimyasal sabitlik, düşük ses geçirgenlik ve ateşe karşı dayanıklılık özelliklerinden dolayı ticari değere sahiptir (Keskin, 2016).

İnşaat sektörü gerek ham perlit gerekse genleştirilmiş perlitin en çok kullanıldığı sektördür (Çelik, 2010). Ayrıca tarım, filtre endüstrisi, tekstil, ilaç ve kozmetik sanayi ve metalürji gibi birçok sektörde tüketilmektedir. Tablo 3.11'de perlitin sektörel bazda kullanım alanları sunulmuştur (DPT, 2001).

Tablo 3.11. *Perlitin sektörel bazda kullanımı (DPT, 2001)*

1. İNŞAAT SEKTÖRÜ
➢ Şekillendirilmiş izolasyon malzemeleri (çatı ve zemin izolasyonlarında ➢ Perlitli sıvalar ➢ Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (Çimento veya alçı bağlayıcı) ➢ Perlit agregalı hafif yapı elemanları tavan kiremitleri, boru izolasyonları vs. ➢ Gevşek dolgu malzemesi olarak (tavan araları zemin ve duvar boşluklarında yalıtım malzemesi olarak; silikonla özel bir işleme tabi tutularak köpük halinde) ➢ Yüzey döşemelerinde (ısı ve ses yalıtıcı olarak) ➢ Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları
2. TARIM SEKTÖRÜ
➢ Tarla tarımında ➢ Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı gibi ➢ Çimli spor alanlarında
3. SANAYİ SEKTÖRÜ
➢ Gıda, ilaç ve kimya sanayinde filtre yardımcı maddesi olarak
• <u>Gıda sanayinde</u> - Meyve sularını süzmede - Bitkisel yemeklik yağlarını süzmede - Şeker şerbeti süzmede - Mısır şerbeti süzmede (Glikoz / Dekstroz üretiminde) - Bira, şarap ve likörleri süzmede
• <u>İlaç ve kimya sanayinde</u> - Boyaların süzülmesinde - Kağıt sanayinde (Beyaz su filtrasyonu) - Antibiyotiklerin süzülmesinde - Pektin süzmede - Sitrik asit süzmede - Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu - Sodyum silikat (su camı) - Sülfürik asit filtrasyonu - Uranyum şerbeti filtrasyonu - Flok süzmede (Alüminyum hidroksit ve flokülasyon işlemlerinde) - Fosforik asit süzmede
• <u>Diğer süzme işlemlerinde</u> - İçme suyu süzmede - Yüzme havuzlarının suyunu süzmede - Atık suları temizleme ve süzme işlemlerinde - Makina yağı süzmede (kullanılmış makina yağlarının rejenerasyonu)
➢ İlaç ve kimya sanayiinde dolgu maddesi olarak
• Çeşitli ilaçlarda (insan sağlığı ilaçları ve veteriner ilaçları) • Haşere ilaçlarında (bitki koruma vb.) • Temizleyici tozlarda • Gübrelerde • Dinamit üretiminde • Testüre (yüzeyi grenli) örtücülüğü yüksek boyaların üretiminde • Kozmetik sanayinde (sabun vb.)

Tablo 3.11.*'in devamı*

➢ Sanayide ısı yalıtım malzemesi olarak
• 1000°C ye kadar sıcaklıktaki reaktörlerin, potanların vb. yalıtımında • Soğuk hava depolarının yalıtımında
• <u>Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında</u> - Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) - Sıvılaştırılmış doğal gazlar (LNG) - Sıvı oksijen - Sıvı azot ve amonyak - Sıvı propan, etan ve metan - Sıvı soygazlar, itici gazlar (propellanlar), soğutucu gazlar (refrigeranlar vb.)
➢ Seramik ve cam sanayinde katkı maddesi olarak
➢ Metalurjide
• Döküm kumuna katkı maddesi olarak • Dökümcülükte metalurjik flaks olarak • Potadaki ergimiş metalin korunmasında • Demir-Çelik sanayinde ergimiş metalin cüruf kontrolünde • Dövmede veya haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede
• <u>Perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde</u> - Seramik bağlayıcılı refrakter tuğlalar - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar - Perlitli refrakter harçlar
4. DİĞER ALANLARDAKİ UYGULAMALAR
➢ Petrol, su ve jeotermal sondajlarda (çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak) ➢ Gemi diplerini kaplama ve yalıtımında (kalafat macunları) ➢ Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklarından kaynaklanan su kirliliğini gidermede (Bilhassa denizlerdeki) ➢ Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarda buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak ➢ Ambalajlamada dolgu malzemesi olarak ➢ Plastik köpük ve plakalara dolgu ve katkı malzemesi olarak ➢ Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi olarak (Bahçe sandalye ve masası) ➢ Yangına karşı özellikle çelik kontrüksiyonlarda yalıtım katı olarak

1. İnşaat Sektöründe Kullanımı

Perlitin en çok kullanıldığı alan olan inşaat sektörü, toplam perlit tüketiminin %60-70'ini gerçekleştirmektedir (Sağsöz, 2007; Çiçek, 2002).

Perlit malzemesi yapıda hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Hafif betonların ısı iletim katsayılarının ve birim ağırlıklarının düşük olması hafif betonların başlıca özelliğidir (Yalgın, 1983; Köktürk, 2002) Binaların depremden korunması yönünden

binalara uygulanan ölü yükü azaltmak için hafif betonların kullanılması önem arz etmektedir (Topçu ve Işıkdağ, 2008). Ayrıca perlit kullanılarak üretilen betonların yangına karşı koruyucu olmaları perliti daha cazip bir malzeme haline getirmektedir (Yu ve Lee, 2003).

Genleştirilmiş perlit, ısı ve ses yalıtımı amacıyla duvarlarda ve döşemelerde bağlayıcı malzeme kullanılmadan dolgu agregası olarak üretime katılmaktadır (Köktürk, 2002). Ayrıca duvar elemanı olarak kullanıldığında alan kazandırması yapı maliyetine olumlu yönde etki etmektedir (Ayberk, 1995).

Genleştirilmiş perlit, geleneksel sıvalar üzerinde hafif, ısıya dayanıklı ve ses yutucu özelliğe sahip bir malzemedir (Kalaycı, 2016). Ses yutucu özelliğinden dolayı, bina iç ve dış sıvalarında ince agrega yerine perlit malzemesi kullanılarak akustik sıva yapılmaktadır. Perlitli sıva, normal kum sıvalarına göre %60 daha hafiftir (Köktürk, 2002). İnce agregadan çok daha hafif olduğu için işçiliği kolay ve daha az zahmetlidir. Perlit, çimento ile birlikte kullanılabileceği gibi, alçı ile de kullanılmaktadır (Azizi, 2007).

Perlitin inşaat sektöründe kullanımı kısaca özetlenecek olursa;

İnşaat sektöründe;

- ✓ Çatı ve zemin izolasyonlarında
- ✓ Perlitli sıvalarda
- ✓ Perlit agregalı hafif yalıtım betonunda
- ✓ Perlit agregalı hafif yapı elemanları tavan kiremitleri, boru izolasyonları vs.
- ✓ Gevşek dolgu malzemesi olarak
- ✓ Yüzey döşemelerinde ısı ve ses yalıtıcı olarak
- ✓ Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçla perlit betonları şeklinde tüketilmektedir (Azizi, 2007).

Perlit çimento ile;

- ✓ Perlit ve normal agregalarla beton bloklar ve yan taşıyıcı blok olarak
- ✓ Yalıtım betonu amacı ile dolgu betonu olarak

Perlit alçı ile;

- ✓ Bölme duvar elemanı olarak
- ✓ Akustik pano yapımında
- ✓ Ses ve ısı yalıtımı için blok tuğla yapımında (Khanjarkhanı, 2014)

Perlit sıva ile;

- ✓ Akustik sıva yapımında
- ✓ Hazır sıva yapımında
- ✓ İç ve dış sıvada ısı yalıtımı sağlamak amacı ile tek başına ya da diğer agregalarla karıştırılarak

Perlit hazır izolasyon plakları ile;

- ✓ Bazı bitüm esaslı katkı maddeleri ile ısı ve neme karşı izolasyon plağı olarak
- ✓ Hasır çelikle birlikte kuvartz kumu ve perlit agrega olarak beton hazır plak yapıldığında çatı ve döşeme plağı olarak
- ✓ Üzerinde fazla ağırlık olmayan eğimli çatılarda çatı örtüsü olarak kullanılmaktadır (Gökhan ve Baytın 1978).

Perlit hafif yalıtımlı yapı malzemesi olarak kullanıldığında, binaların ısınma/soğutma maliyetlerini %50 oranında, ölü yükünü %67 oranında azaltmaktadır (Doğan ve Şener, 2004).

Ham perlit kimyasal bileşiminde silisli ve alüminyumlu bileşiklere sahip olmasından dolayı kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite özelliği sergilerler (Çelik, 2010). Ayrıca perlit bünyesinde bulunan alüminyum, kalsiyum, magnezyum ve demir bileşenlerinden dolayı yüksek mukavemet gerektiren inşaat sahalarında ve yer döşemelerinde kullanılmaktadır (Gündüz vd., 1998).

2. Tarım Sektöründe Kullanımı

Perlit, seracılık, sebze ve meyve yetiştiriciliği, süs bitkileri ve fide yetiştirmede kullanılmaktadır. Tarım sektöründe perlit kullanılarak hazırlanmış toprak karışımların ya da tamamen perlitten oluşturulan yetiştirme ortamlarının avantajlı olduğu bilinmektedir (Silber vd., 2010; Ors ve Anapali, 2010). Perlitin boşluklu yapısı

sayesinde bitki toprağının havalanması sağlanmaktadır. Toprağın *infiltrasyonu* denilen yani suyun yer çekimi vasıtasıyla yüzeyden aşağıya inmesini sağlayan özelliği arttırmaktadır. Ayrıca toprak içerisinde bulunan suyun buharlaşmasını azaltarak suyun toprakta kalmasını sağlamaktadır (Munsuz ve Ataman, 1977). Tarla ve bahçe tarımında, seracılık ve çimli spor alanlarında uygun toprak koşullarını sağlamak özelliğini sağlamak için "substrat" maddesi olarak kullanılmaktadır (Çiçek, 2002). Toprak özelliklerinin iyileştirilmesinin yanı sıra, bitki öldürücü ilaç, böcek öldürücü, gübrelerde dolgu maddesi olarak da tüketilmektedir (Tiber, 2011, Kaya, 2016, Kalaycı, 2016). Ayrıca perlit, yeşil çatılarda bitki yetiştirme aracı olarak kullanılmaktadır (U.S. Department of Interior, 2015).

3. Filtre Endüstrisinde Kullanımı

Perlit bünyesinde %70'den daha fazla silika bulundurmasından ötürü emilim özelliği göstermektedir. Kimyasal açıdan âtıl olduğu için birçok üretimde süzme yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır (Kaya, 2016). Perlit, kararlı yapısından dolayı, kimyasal reaksiyonlara girmeyen ve suda çözünmeyen bir maddedir (Peryum, 2018) Süzülen malzeme ile kimyasal reaksiyona girmemesi ve karışmaması perlitin filtre görevinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir (Shackley ve Allen, 1992). Perlitin bu filtre özelliği onu baraj, içme ve havuz, sanayi ve diğer atık suların temizlenmesinde etkin kılmıştır (Tiber, 2011). Ayrıca bira, şarap, meyve suları, şeker şerbeti ve bitkisel yağların üretiminde yardımcı süzme malzemesi olarak gıda sektöründe de tüketilmektedir (Kalaycı, 2016).

4. Sanayi Sektöründe Kullanımı

Döküm endüstrisinde, demir ve çelik döküm işlemlerinde kullanılan döküm kumunun yaklaşık %8-12, demir ve çelik dışı metallerin dökümünde yaklaşık %20-30 oranında perlit kullanılmaktadır. Perlit, 1050 ^{o}C gibi yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olması gereken fırın, kazan, ısıl işlem, tavlama-dövme ve ergitme ocaklarında kullanılan tuğlaların üretiminde katkı maddesi tercih edilmektedir. -270 ^{o}C gibi düşük sıcaklıklarda sıvılaştırılmış bütün gazların, tanklarda sıvılaştırma sıcaklığında muhafaza edilmesi için tankın çift cidarı arasına perlit doldurulmaktadır (Tiber, 2011).

1 200-1 300°C'lerde eriyik halde olan perlit, 1 500-1 600°C'lerde vizkositesi yüksek bir malzeme olması nedeniyle yangına karşı koruyucu bir malzemedir. Bu özellik,

perlit katkılı üretilen malzemeye ısıl ve mekanik gerilmelerden doğabilecek kırılmalara karşı daha dayanıklı olma kabiliyeti kazandırmaktadır (Tanaçan, 1993). Yanmazlık özelliği ve yüksek sıcaklıklarda uzun süre bozulmadan dayanabilme özelliğinden dolayı yangın anında zarar görmesi istenmeyen yapı elemanlarının korunmasında kalkan görevi üstlenmek ve bu özelliğinden dolayı metalürji alanında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. (Peryum, 2018).

Tüm bunların yanı sıra genleşmiş perlit, boyada, cilalama işlemlerinde, plastiklerde, reçinelerde ve kauçuklarda dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Elmas, 2014).

5. Tekstil Sektöründe Kullanımı

Perlit tekstil sektöründe, denim yıkamacılığı başta olmak üzere kumaş yıkama işlemlerinde kullanılmaktadır. Denim kumaşlardan üretilen giysilerde "taşlanmış" diye adlandırılan kumaş yüzeylerini ve renk tonlarını değiştiren efektler perlit sayesinde sağlanmaktadır. Perlitin tekstil sektöründe kullanımı için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara göre; perlitinde aralarında bulunduğu karışım hazırlanarak 55-60 ^{o}C'de 60 dakika yıkama işlemi sonucunda taşlanmış ürün elde edilebilmektedir. Belli miktarda pomza, perlit ve kostik soda karıştırılıp, hazırlanan karışım denim kumaşlarla 20 dakika döndürülerek karıştırılması sonucunda kumaş yüzeyinde iyileştirme yapılmaktadır. Ayrıca su, genleştirilmiş perlit ve selülaz enzimi içeren bir karışımla yıkanan ürünlerin daha kadifemsi bir yapıya sahip olduğu bildirilmektedir (Tiber, 2011).

6. Diğer Kullanım Alanları

Perlit; sıvı oksijen, propan ve metan gazı tanklarının yalıtımında gres ve yağ emicisi olarak kullanılmaktadır. Soğuk hava depolarında kullanılan soğutma cihazların, sıcak su ve buhar ileten boruların yalıtımında dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Azizi, 2007). Gemi diplerini kaplama ve yalıtma işlemlerinde kullanılan perlit, ambalajlama işlemlerinde dolgu malzemesi, plastik köpük ve plakalarda dolgu veya katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca bahçe sandalye ve masası gibi hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi, çelik kontrüksiyonlarda yangına karşı yalıtım katı olarak tüketilmektedir (Çiçek, 2002).

Bu çalışmada kullanılan perlit Erzincan ili Mollaköy beldesinden temin edilmiştir. Perlit agregasının özellikleri Çizelge 3.12 ve 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. *Erzincan Mollaköy ham perlitin birleşenleri*

Birleşenler	**Oran (%)**
SiO_2	71–75
K_2O	4–5
CaO	0,40–0,82
Fe_2O_3	0,30–0,50
MnO	0,071
Al_2O_3	12,50–16
Na_2O	3,20
MgO	0,02–0,03
TiO_2	0,01
SO_3	0–0,2

Çizelge 3.13. *Erzincan Mollaköy perlit agregasının fiziksel özellikleri*

Özellikler	**Tane Sınıfı (mm)**		
	0-2	**2-4**	**4-8**
Gevşek birim ağırlık (kg/m^3)	1123,67	1086,23	1035,44
Sıkışık birim ağırlık (kg/m^3)	1310	1225	1140
Özgül ağırlık faktörü	2,16	2,12	2,05
Su emme (%)	2,9	4,7	6,2
30 dakikalık su emme (%)	2	2,3	3

3.1.3. Kil

3.1.3.1. Kil minerallerinin tanımı ve genel yapısı

Kil çok uzun zamandan beri kullanılmasına karşın, kil bilimi genç bir bilim dalıdır (Annabi, 2008). Kil bilimi; fizik, kimya, biyoloji ve mineraloji gibi çok birçok bilim dalını bir araya getiren disiplinler arası bir bilim dalıdır (Karakehya, 2013).

Kil minerali, doğada kolayca ve bol miktarda bulunabilen, yumuşak ve çok ince taneli yapıya sahip bir hammaddedir (Holzheu ve Hoffmann, 2002; Tarkan, 2015). Doğada yumuşak çamur, yumuşak katı madde ve tabakalı taşlar formunda bulunmaktadır.

Jeoloji alanında kil; Kimyasal bileşimi sulu aliminyum silikat ya da sulu magnezyum silikat olan, tanecik boyutu 4 μ'dan küçük ve plastik özelliklere sahip jeolojik bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Zhou and Keeling, 2013). *Mühendislik alanında kil;* Ana kimyasal bileşimi sulu alüminyum silikat mineralleri ve bazı yabancı maddelerden meydana gelen, tanecik büyüklüğü 2 μ'dan küçük olan, suyla temas ettiğinde şişen ve plastik özelliği kazanan, kurutulduğunda büzülen, yüksek ısıda pişirildiğinde sürekli sert ve camsı bir yapıya sahip olan ince dokulu toprak malzeme olarak tanımlanabilir (Bergaya and Lagaly, 2013; İşçi, 2015; ÖİK, 1995). Mineraller içerik ve kimyasal bileşimlerine bağlı olarak beyaz, gri, pembe, yeşil, mavi ve kahverenginin tonlarında bulunabilirler (Worral, 1986).

Killer, elektriği iletmeyen yalıtkan malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olduklarından ısıya maruz kaldıklarında yumuşama özelliklerinden dolayı elle veya bir alet aracılığıyla parçalanmadan şekil verilebilmektedir (Alemdar vd., 2000). Kimyasal yapısından dolayı su çekme özelliğine sahip olan kil minerali daima nemlidir. (Gücek, 2011)

Yapılan çalışmalarda kil minerallerinin bünyelerinde silika, alümina, alkali ve toprak alkali metallerle birlikte kil minerali olmayan quartz, kalsit, illit ve pirit gibi mineralleri de bulunduğu tespit edilmiştir (Worral, 1986; Önal, 2013). Bazı kil minerallerinde, alüminyumun yerine Fe ya da Mg bulunabilmektedir (Güngör, 1981; Polat, 2011).

Kil bileşiminde yer alan bazı bileşiklerin kil minerali üzerindeki çeşitli etkilere neden olmaktadır. *Serbest silis;* plastikliğini azaltır ve kuruma ve pişme sırasında küçülmeyi önlemektedir. *Alüminyum bileşikleri*, kilin refrakterliğini arttırmaktadır. *Alkali bileşikleri*, kilin kuruma küçülmesini azaltırlar, kuruma işlemlerini kolaylaştırmaktadır. *Kalsiyum bileşikleri;* vitrifikasyon ve refrakterlik ısısını düşürür, düşük ısıda kilin kurumasını kolaylaştırır, kırmızı rengi beyazlatır ve porselen çamurlarında ve sırlarında genleşmeyi azaltmaktadır. *Demir bileşikleri;* pişme rengine tesir eder, kilin refrakterliğini azaltır ve pişmiş kil üzerinde görülen demir lekelerini meydana getirmektedir. *Titanyum bileşikleri*; renge tesir eder ve alüminyum ile beraber erime noktasını yükseltmektedir (Akıncı 1967).

Kil mineralleri, jeolojik durumlarına, kimyasal bileşenlerine ve sanayide kullanılışlarına göre sınıflandırılmaktadır (Sürül, 2015).

- **Jeolojik Durumlarına Göre Sınıflandırma**

Jeolojik oluşumlarına göre killer üçe ayrılır.

Kimyasal ayrışma ile oluşan killer (Kalıntı killeri): Dolomit ve kireçtaşının kimyasal yolla ayrışması sonucu killi malzeme ile karışmasıyla meydana gelmiştir.

Yerinde oluşan killer: Yerli kayaç üzerinde feldspatların ayrışması sonucu meydana gelirler.

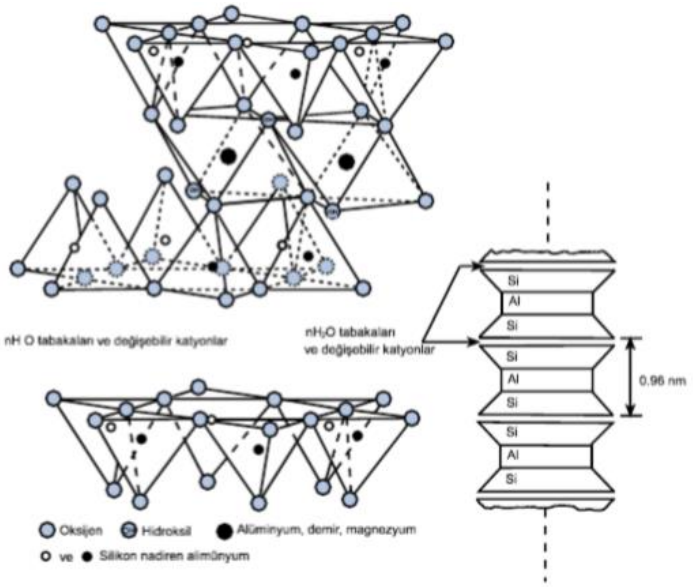
Taşınma ile oluşan killer: Alterasyon sonucu oluşan killerdir. Organik kökenli tüffit ve küllerin ayrışarak taşınması ve taşındıkları bölgede çökelmesi sonucu meydana gelmektedirler (Kibici, 2002).

- **Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırılma**

Kimyasal bileşenlerine göre killer beş guruba ayrılmaktadır. Bunlar;

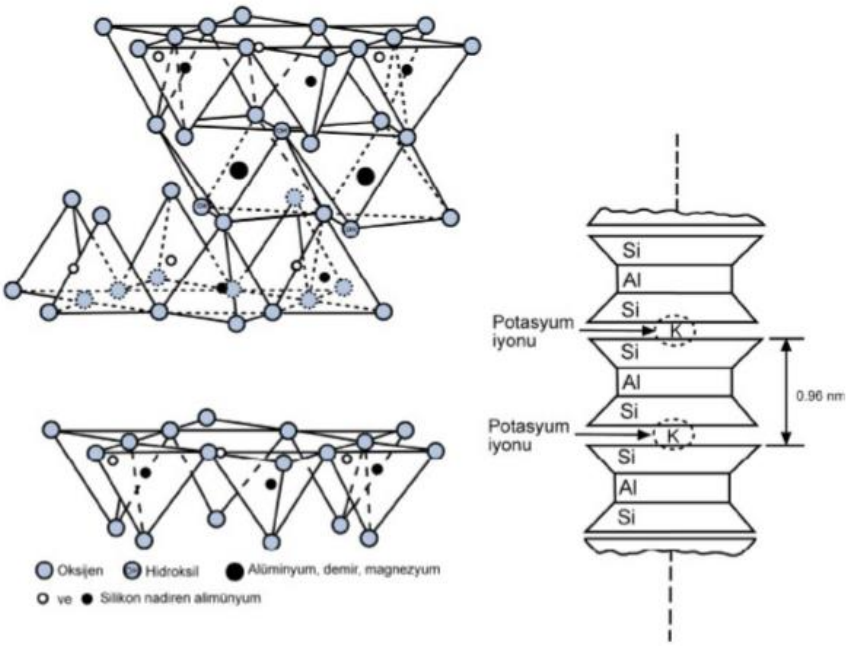
Kaolinit grubu; $Al_2O_3.2Si_2.2H_2O$ bileşimli killerdir. Elektron mikroskopta ince levhalar halinde görülen kaolinit gurubu killer genleşmezler (Türköz, 2007).

Montmorilonit grubu; Sarı, beyaz, yeşil, mavimsi ve siyahımsı renge sahiptir. Su tutma kapasiteleri fazla olduğundan, şişme ve büzülme kapasiteleri oldukça yüksektir (Gönen, 2009). Su emdiğinde hacmi 10–15 kat artmaktadır. Şekil 3.5'de montmorilonit kil mineralinin yapısı ve şematik gösterimi verilmiştir (Fell vd., 1992).



Şekil 3.5. Montmorilonit kil mineralinin yapısı ve şematik gösterimi (Fell vd., 1992)

İllit grubu; Yapı bakımından montmorillonitlere benzeyen ilitin üç tabakadan oluşan içyapı ve potasyumca zengin ortamların ürünüdür. Mikroskopla incelendiğinde; ufak, yassı ve düzgün olmayan levhalar halinde görülen kil mineralleridir. İllit minerallerinin özgül yüzeyleri yaklaşık 80 gr/m^2, özgül ağırlıkları 2,64-3,0 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Şekil 3.6'da illit kilinin yapısı sunulmuştur (Fell vd., 1992).



Şekil 3.6. İllit kilinin yapısı ve şematik gösterimi (Fell vd., 1992)

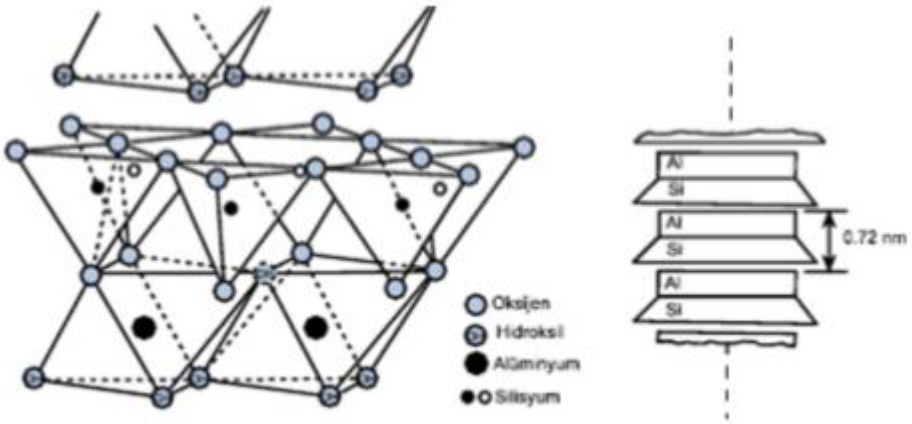
Klorit grubu; Demirli taşlar içinde yeşil renkte bulunmaktadır. Atomlarının dizilişi üç tabakadan oluşan kloritlerin kristal yapıları mika ve brusit tabakalarından oluşmaktadır (Yalçın, 1997).

Sepiolit grubu; Kristal iç yapısı zincirli halka formunda olan kil mineralleridir. Sepiolit grubu killer magnezyumca zengin volkanik tüf ve kristal kütlelerin ayrışmasından meydana gelmektedirler (Zal, 2010).

- **Sanayide Kullanılışlarına Göre Sınıflandırma**

Killer sanayide kullanılışlarına göre aşağıda verildiği gibi sıralanırlar;

Kaolinler (China Clays); Zeminlerin çoğunda bulunan kaolinitler bünyesinde pek çok kil minerali içermektedir. Minerallerin kristalleri levha şeklinde ve düz kristal üniteler formundan meydana gelmektedir (Bell ve Walker, 2000). Özgül yüzeyleri yaklaşık 10 m^2/gr, özgül ağırlıkları 2,60-2,68 gr/cm^3 arasında değişmektedir (Çetin, 2003). Şekil 3.7'de atomik yapısı ve şematik gösterimi verilen kaolinler seramik, kâğıt, plastik, tekstil, cam, çimento, ilaç, kozmetik ve yağ üretim alanlarında aktif şekilde kullanılmaktadırlar.



Şekil 3.7. Kaolinit kil mineralinin atomik yapısı ve şematik gösterimi (Fell vd., 1992)

Bağlama Kili (Ball Clays); İçerisindeki safsızlıkların fazla ve çeşitli olması, killere ısı ile renk değişim özelliğini kazandırmaktadır. Seramik ve asbest üretiminde aktif bir şekilde kullanılırlar.

Halloysit Türü Kil Grubu; Seramik, porselen, döküm, petrol ve yağ endüstrisinde kullanılırlar.

Şamot Killeri (Ateş Kili-Fire Clay); Genellikle kömür yataklarında, kömür madeninin kazısı sırasında ortaya çıkan killerdir. Seramik, çimento, sondaj kimya, dolgu gibi alanlarda kullanılan killerdir.

Bentonitler; Mineral olmayan bentonit kaya kütlesine verilen addır (Gönen, 2009). Yağ rafineri, sondaj, kimya, deterjan, kâğıt, kozmetik, döküm kumu, seramik, boya gibi alanlarda kullanılır.

Yıkama Killeri (Fuller's Earth); Yağı apsorbe etme özelliğine sahip olan kil mineralleridir. Yıkama killeri absorbans ve yağ rafinasyonunda, sondaj, dolgu ve ilaç sanayinde kullanılırlar.

Diğer Killer (Adi Killer, Şistler); Adi killer ve şistler ana kayanın yüzeyinde bulunur. Tuğla ve çimento endüstrisinde kullanılan killerdir (Şahin, 2009).

Tuğla üretiminde kullanılan kil mineralleri topraktan üretilmektedirler. Üretim için kullanılacak olan kil, su ile karıştırıldığında kolay şekillenebilme, şekillerini koruyabilme ve pişirildiklerinde birlikte erime gibi kendine özgü özellikler taşımalıdır. Tuğla sanayinde kullanılan killerin kimyasal bileşenleri benzer olsa da farklı fiziksel özellik sergilemektedirler. Tuğla sanayinde genellikle ateş killeri, yüzey killeri ve şeyller üretime katılmaktadır (Işık, 2004).

3.1.3.2. Kil minerallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yeryüzünde bulunan mineraller içerisinde plastisite özelliği gösteren tek mineral kildir. Killer plastisite özelliklerinden ötürü sanayide çok geniş ölçüde kullanılmaktadırlar. Killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüzeyleri tarafından belirlenmiş gereçlerdir (Gücek, 2011).

Kil mineralleri kimyasal ve fiziksel açıdan incelendiğinde aktif minerallerdir. Kil parçacıkları atomik yapılarında bulunan su moleküllerin çekim gücü sayesinde, su ile karıştırıldığında harç ve süspansiyonlar oluşturmaktadır. Bu yüzden kil ile yapılacak olan çalışmalarda kilin fiziksel özellikleri bilmek çok önemlidir (Avrami vd., 2008).

Kil mineralleri parçacık şekline göre;

- ✓ Kabuklar: Çift yönlü ve eşit boyutlarda katmanlardır.
- ✓ Çıtalar: Bir yönde büyük genişliği sahip, kalınlığı diğer iki yönden daha az olan lineer yönlü katmanlardır.
- ✓ İğneler: Sonuncunun daha büyük ve boyutlarının benzer olduğu çift yönlüdürler.
- ✓ Hegzagons: Kabuk şeklinin daha düzenli bir halidir (Avrami vd., 2008).

- **Su İçeriği**

Toprak bünyesinde suyun dört farklı türü yer almaktadır. *Kristalize su;* toprak taneleriyle kimyasal olarak bağlıdır. Toprağın 400-900°C ısıtıldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. *Gözenek Suyu*; Toprak içerisinde kapilarite yoluyla bulunan sudur. *Emilen Su;* Kil tanelerine elektriksel olarak bağlı olan sudur. Toprak 105°C ısıtıldığında emilen su ve gözenek suyu açığa çıkmaktadır. *Serbest Su;* Kil minerali içerisinde buharlaştığında büzülmeye, kil içerisinde kaldığında ise şişmeye neden olan sudur (Williamson 2006).

- **Plastiklik**

Kil, doğada bulunan mineraller arsında plastisite özelliği gösteren tek mineraldir. Su ile karıştırıldığında şekillenebilme özelliği, kil minerallerinin yapısı, homojen görünümlü heterojen karışım unsurların yüzdesi, kuvars miktarı, killerin tane inceliği gibi birçok parametreye bağlıdır. Üzerine bastırıldığında el izlerini gösteren fakat ele yapışmayan kile normal plastik hale gelmiş kil minerali denilmektedir. Kil minerallerinin plastisite suyu %15'ten az, %40'dan fazla olmaması gerekmektedir (Yılmaz, 2005).

- **Organik Bileşenler**

Toprağın 40 cm derinliğine inildiğinde, bitki parçaları ve ph değeri 6'dan düşük, asidik bir yapı sahip olan humus görülmektedir. Kil mineralinin inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için humustan ve bitkiden temizlenmiş olması zorunludur. Fakat saman gibi kurutulduğunda kil ile kullanılabilen, zaman içerisinde yapı malzemesine zarar vermeyen bitki parçacıkları istisnai bir durum olarak kullanılmaktadır (Minke 2009).

- **Porozite**

Porozite, kil mineralinin yapısında bulunan toplam gözenek hacmi ile hesaplanmaktadır. Gözenek hacminden ziyade gözenek boyutları önem arz etmektedir (Minke 2009).

- **Doluluk**

Kilin statik basınç altında sıkıştırılması önemli bir özelliğidir. Böylelikle hacmi azalmış olan kil boşluksuz olmaktadır. En fazla sıkıştırmayı yapabilmek için su içeriği optimum su içeriğine sahip olmalıdır. Optimum su içeriği ile sıkıştırma gerçekleştiğinde çok fazla sürtünme olmadan parçacıklarda yoğun yapılanma meydana gelmektedir (Minke 2009).

- **Yoğunluk**

Kil mineralinin yoğunluğu kuru ağırlığın boşluklu hacme oranına denilmektedir. Yeni kazılmış yaş toprağın yoğunluğu 1000 ile 1500 kg/m^3 arasında değişmektedir. Toprak sıkıştırma işlemine tabi tutulduğunda yoğunluğu 1700-2500 kg/m^3 olmaktadır (Minke 2009).

Killer, kimyasal bileşimi sulu alüminyum, silis ya da sulu magnezyum silis içeren çok küçük tane boyutuna sahip minerallerdir (Akıncı, 2001). Killerin ince taneli, küre ya da küpe benzer yapıları aynı tane boyutlu diğer minerallere göre daha geniş yüzey alanına sahiptir. Yüzey özelliklerine bakılmaksızın kil minerallerinin kristal yapılarında yüzey önem arz etmektedir. Killer tabaka yapılı bünyelerinde su ihtiva eden alümina silikatlardır. Plastisite özelliği tabakalarının plaka şeklinde olmasından kaynaklanan kil mineralleri, bu plâkaların birbiri boyunca su vasıtasıyla kayma özelliğine dayanmaktadır (Gücek, 2011).

Kil mineralleri alüminyum ve silikonun oluşturduğu altıgen ve kristal katmanlardan meydana gelmektedir. Her alüminyum tabakası bir silikon tabakasına bağlanmaktadır. Killerin basınç dayanımı ve bağlayıcılık gücü bu katmanlar arasında bulunan bağların miktarına ve tipine göre değişmektedir (Erdoğdu, 2015).

3.1.3.3. Dünya'da kil rezervleri

Dünya literatüründe kil mineralini ve kaolen birlikte değerlendirmektedir. Bu nedenle seramik ve tuğla killerini ülkeler bazında ayırmak zor olmaktadır. Dünyada 2008-2010 yılları arasında seramik ve tuğla kili rezervi 80 755 1 milyon tondur. Çizelge 3.14'de seramik ve tuğla kili rezervlerinin ülkeler bazında dağılımı sunulmuştur (Çelik, 2010).

Çizelge 3.14. *Ülkeler bazında seramik ve tuğla kili rezervleri (Vitra, 2008)*

Ülkeler	**Miktar (milyon ton)**
ABD	25 350
Özbekistan	10 100
Almanya	7 644
Çek Cumhuriyeti	7 554
Ukrayna	4 940
Brezilya	4 690
İngiltere	3 350
Türkiye	2 730
İtalya	2 225
Diğer	22 237
Toplam	**80 755 1**

Tablo incelendiğinde 25 350 milyon ton kil rezerviyle ABD ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Türkiye 2 730 milyon tonluk kil rezervi ile sekizinci sırada yer almaktadır.

3.1.3.4. Türkiye'de kil rezervleri

Türkiye'de üretilen killerin yaklaşık %80'i tüvenan olarak piyasaya sürülmektedir. Boyutlandırma işlemleri tüketici seramik şirketlerinin tesis bünyelerinde kurulan sistemlerle yapılmaktadır. Türkiye'de Söğüt ve İstanbul'un Şile ve Kemerburgaz ilçeleri, seramik kili açısından üretim yapan iki büyük bölgedir. Bu bölgelerin rezerv araştırması MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Çizelge 3.15'de Türkiye'de kil üretimi yapan bölgelerin kil rezervleri sunulmuştur (ÖİK, 2001).

Çizelge 3.15. *Türkiye'de üretilen kil rezervleri (ÖİK, 2001)*

Bölge	Fayans Kili	Seramik Kili	Döküm Kili	Tuğla Kili
Şile	30 000	8 000	15 000	-
Kemerburgaz	2 500	1 500	500	-
Küre	500	250	150	1 000
Çaltı	200	150	10	250
Yakacık	350	2 000	30	500
İnhisar (Söğüt'e bağlı)	2 000	5 000	500	3 500
Toplam	**35 550**	**16 900**	**2 690**	**5 250**

Türkiye'de en fazla tuğla kili Bilecik'in Söğüt İlçesine bağlı İnhisar köyünde çıkarılmaktadır. İnhisarı 1 000 milyon ton rezervle Küre takip etmektedir. Şile ve Kemerburgaz'da fayans, seramik ve döküm kili rezervi bulunurken, tuğla kili rezervi bulunmamaktadır.

3.1.3.5. Kil minerallerinin kullanım alanları

Türkiye'de üretilen killerin büyük bir bölümü seramik ve fayans üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca izolatör, sıhhi tesisat ve porselen sanayilerinde de tüketilmektedir. Çizelge 3.16'da killerin belli başlı kullanım alanları verilmiştir (Çelik, 2010).

Çizelge 3.16. *Killerin sektörel bazda kullanım alanları (Çelik, 2010)*

Pişirilen Kil Ürünleri (%45)	Diğer Tüketim (%35)
Tuğla, Kiremit	Refrakter Sanayi, Çimento
Drenaj Boruları, Sıhhi Tesisat	İlaç ve Kağıt Sanayi
Yapısal Karo, Fayans, Yer Karosu	Sondaj Çamuru, Cam Elyafı
Porselen, Cam, Çini, Çömler	Dolgu Maddesi, Lastik Sanayi
Elektro Porselen	Kaplama Malzemesi

Toprağın kil içeriği tarım alanlarında olduğu kadar inşaat alanlarında da önem arz etmektedir. Bina, nükleer reactor ve termik santral gibi önemli yapıların yanı sıra baraj, köprü ve yol inşaatlarında zemin oturması kil mineralleri ile ilişkilidir. Kil minerallerinin kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Kil çeşidi olan betonitler bünyelerinde su tutarak şişme özelliklerinden dolayı baraj inşaatlarında dolgu malzemesi olarak işlev görmektedir (Erdoğdu, 2015).
- Tuğla, kerpiç, refrakter, cam ve kiremit gibi inşaatlarda kullanılan bazı yapı malzemeleri killerden üretilmektedir (Erdoğan, 2016).
- Petrolün çıkarılmasında sondaj çamuru olarak kullanılan killer petrokimyada da kraking katalizörü olarak kullanılmaktadır (Melrose, 1970).
- Makina yağlarının ağartılmasında kil mineralinden üretilen ağartma toprakları kullanılmaktadır (Erdoğan, 2016).
- Kaolinit oranı yüksek killer, kağıt sanayinde parlayıcı ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Hemstock, 1962).
- Organik ve inorganik molekül ve iyonları absorbe eden ve değiştirebilen smektit grubu kil mineralleri, ilaç sanayinde tüketilmektedir (Robertson ve Ward, 1951).
- Parfümeri, sabun, deterjan, lastik ve plastik gibi malzemelerin üretiminde katkı maddesi olarak killerden faydalanılmaktadır (Malayoğlu 1995).
- Radyoaktif ve atık suların temizlenmesinde killer kullanılmaktadır.
- Gıda sanayinde şarap, bira ve meyve sularının ağartılması işlemlerinde kullanılmaktadır (Tamura ve Struxness, 1963).

3.1.4. Tuğla

Tuğla; killi toprağın su ile harmanlanarak hamur haline getirildikten sonra şekillendirilip yavaş yavaş kurutulduktan sonra özel fırınlarda yüksek sıcaklıklarda 900-1 300°C sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilen en eski yapı malzemesidir (Diaz vd.,; 2007, Yüksel ve Şişman, 2003; Cultrone ve Sebastian, 2009).

Kumlu kil adı verilen toprak tuğla üretimine en elverişli topraklardır. Tuğla toprakları bünyesinde bol miktarda demir, silis ve karbonat bulundurmaktadır. Tuğla üretimine elverişli topraklar; kil, silt, çorak, balçık, mil, lem gibi isimlerle tanımlanmaktadır. Bu toprakların içerisinde kuvars, kaolinit, montmorillonit, kalsit, hidromika, limonit ve

illit gibi mineraller barındırmaktadır. Ayrıca kireç miktarı %25'in altında olan killer tuğla üretimi için uygun topraklar olarak görülmektedir.

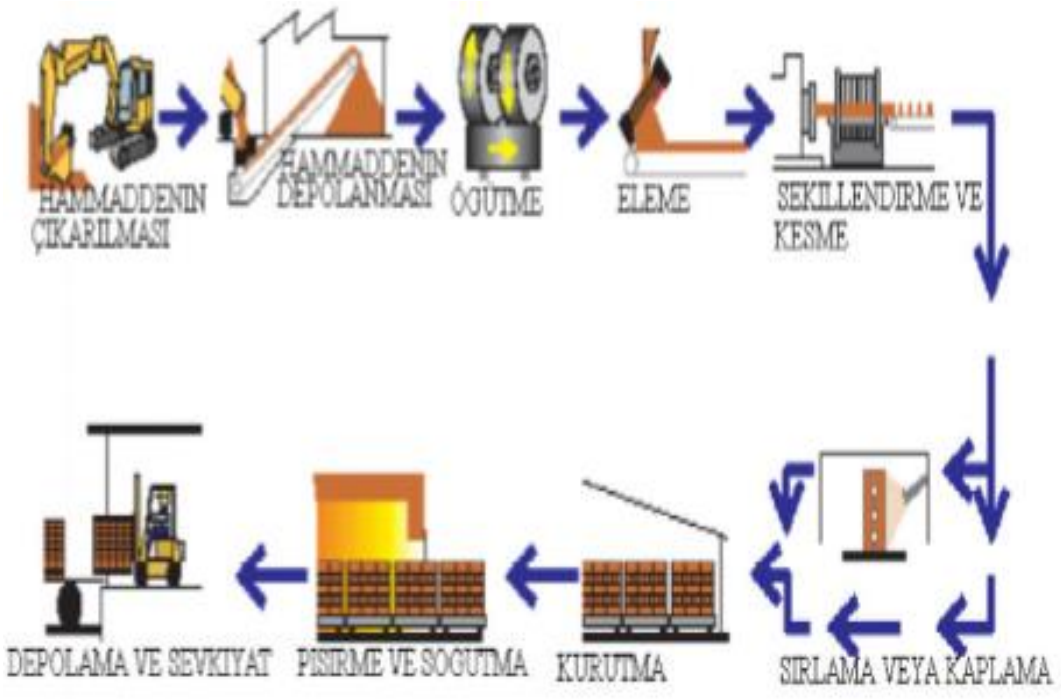
Tuğla imalatına elverişli toprakların fazla bulunması, tuğlanın ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermektedir. Bu nedenle başta kentler olmak üzere kırsal alanlarda, tarımsal yapılarda kolaylıkla üretilip kullanılmaktadır (Karaman, 2006).

Tuğla malzemesinin özellikleri, toprağın yapısına ve kum-kil oranına, pişirme sıcaklığına ve üretim tekniğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. (Sürül, 2015).

Tuğla imalatı aşağıdaki aşamalardan meydana gelmektedir;

- Hammaddenin alınması ve tuğla hamurunun hazırlanması,
- Tuğla hamurunun şekillendirilmesi,
- Tuğla hamurunun kurutulması,
- Tuğla hamurunun pişirilmesi,
- Ürünlerin fırından çıkarılması ve depolanması

Şekil 3.8' de tuğla üretim süreçleri şeması görülmektedir. (Şahin, 2008).



Şekil 3.8. Tuğlanın üretim aşamaları (Görhan, 2011).

- **Hammaddenin Alınması ve Tuğla Hamurunun Hazırlanması**

Tuğla üretiminde kullanılacak killer, bölgelerinden alınarak depolanmaktadırlar. Depolama alanlarında bulunan killer hammaddenin hazırlanması için tuğlaların şekillendirileceği alana taşınırlar.

Hammaddenin işlenebilmesi için ilk olarak öğütme işlemi yapılmaktadır. Hammaddenin homojen, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin oluşması için öğütülüp ince partiküller haline getirilmektedir. Hammadde çeşitli makinelerle içerisinde bulunan iri taşlar, çöpler ayıklanıp istenilen granülometri sağlanıncaya kadar öğütülmektedir (DPT, 2001).

Öğütme işlemi bittikten sonra su ile karıştırılarak plastik hamur kıvamına gelinceye kadar mikser yardımıyla yoğurulmaktadır (Sürül, 2015).

Yoğurma işleminden ardından tuğla hamuru direnç kazanması için dinlendirilir. Dinlendirme, üretilen hamurun kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Dinlenme sırasında killerin tiksotropik özellikleri sayesinde yoğrulmuş tuğla hamuru direnç kazanmaktadır. (Görhan, 2011).

- **Tuğla Hamurunun Şekillendirilmesi**

Şekillendirme yöntemleri kuru, yaş, yarı yaş, deri sertliği olmak üzere 4 başlıkta toplanmaktadır. Genellikle diğer adı plastik şekillendirme olan yarı yaş yöntemi uygulanmaktadır. Şekillendirilmeye hazır tuğla hamuru değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilerek değişik form ve ebatlarda yarı mamul tuğla üretilmektedir. Şekillendirmede işlemlerinde genellikle: kalıplama, presleme ve vakumlama (Extrude) yöntemleri kullanılmaktadır. Kalıplama harman tuğlası üretiminde, presleme, daha çok kiremit üretiminde, vakumlama yöntemi ise tuğla üretiminde kullanılmaktadır. (Aksin, 2007).

- **Tuğla Hamurunun Kurutulması**

Fiziksel bir süreç olan kurutma, kil içinde bulunan ve şekil vermek için tuğla hamuruna katılan suyun farklı yöntemlerle bünyesini terk etmesidir. Tuğlalar çok hızlı kurutulduklarında bünyelerinde deformasyona ve çatlamalar meydana gelmektedir. Buharlaşma sonucunda oluşan nem içeriğindeki değişmeler ve suyun bünyeden

uzaklaşması ile görülen çekme değişkenliği, yarı mamul tuğlalarda gerilimlere sebep olmaktadır (Uz vd., 2006). Bu yüzden tuğlalara pişirme işlemine tabi tutulmadan önce mutlaka kurutma işlemi uygulanmalıdır (Görhan, 2011).

Kurutma işlemi doğal ve suni olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Doğal kurutma atmosfer şartları altın da yapılan kurutmadır. Suni kurutma ise sıcaklık ve nemin kontrol altında tutulması esasına dayanan kurutma odalarında yapılmaktadır (Şişman vd., 2006).

Şekil verilen tuğlalar kalıplardan ya da kesme makinelerinden çıkarıldığında, %7- %30 arasında nem içermektedirler. Bu nemin büyük bir kısmı 38-204 ºC sıcaklık aralığında bulunan kurutma odalarında buharlaşmaktadır. Kurutma zamanı kilin türüne göre farklılık göstermekle beraber genellikle 24- 48 saat arasında değişmektedir. (Şahin, 2008).

Yoğurma sırasında hamura katılan su, kuruma sırasında tersine bir yol izleyerek hamurdan uzaklaşmaktadır. Hamur bünyesindeki gözeneklerde bulunan su uzaklaştıkça kil tanelerinin birbirlerine yaklaşmasından dolayı küçülme meydana gelmektedir (Aksin, 2007).

- **Tuğla Hamurunun Pişirilmesi ve Soğutulması**

Pişirme işlemi, kurutulmuş tuğlanın, yüksek pişirme kapasiteli özel fırınlar içerisinde ısıtılması ve oluşan tuğla yapı malzemesinin tekrar aynı fırın içinde soğutulması işlemidir (Aksin, 2007).

Tuğla pişirme işleminde genellikle tünel ve periyodik fırınlar kullanılmaktadır. Bu fırınlarda pişirme işlemi 40–150 saat sürmektedir.

Periyodik fırınlar, sıcak fırın gazlarının rahatlıkla hareket etmesini sağlayacak şekilde doldurma, pişirme, soğutma ve boşaltma sırasına göre çalışırlar. Tünel fırınlar da ise yarı mamül ürün olan tuğlalar özel vagonlara yüklenerek, tünel içerisinde bulunan ve farklı sıcaklıklara sahip bölgelerden geçirilerek pişirilirler (Şahin, 2008).

Pişirme esnasında yüksek sıcaklık etkisiyle tuğla malzemesinin ana maddesi olan kil minerali kimyasal reaksiyonlara maruz kalmaktadır. Pişirme sıcaklığı yaklaşık 300 ºC olduğunda tuğla bünyede bulunan organik maddeler tamamen yanmaktadır. Sıcaklık

550 ºC'ye ulaştığında gözenekler içerisine hapsolan su tuğla bünyesini terk etmektedir. Suyun bünyeyi terk etmesinden sonra karışım silis ve alümin haline gelerek ayrışmaktadır. Fırın sıcaklığı 550-900 ºC arasında geldiğinde silis ve alümin birleşerek metakaolin silikatı oluşturmaktadır.

Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra, soğutma işlemine geçilmektedir. Periyodik fırınlarda iyi bir soğutma işlemi uygulamak için tuğla malzemesi 48-72 saat süre fırın içerisinde bekletilmektedir. Tünel fırınlarda ise soğutma süresi 48 saattir (Şahin, 2008).

Pişirme işlemi sonunda sert, şekli sabit, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğla üretilmiş olmaktadır. Pişirme sıcaklığının artması ile tuğla malzemesinin basınç mukavemeti ve birim ağırlığı arttırmaktadır. Ayrıca su emme miktarında azalma meydana gelmektedir (Sürül, 2015). Tuğla malzemesi çok yüksek sıcaklıklarda pişirilirse camlaşmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda harca yapışma özelliğine olumsuz yönde etki etmektedir. Bu nedenle pişirme sıcaklığı 900–980 ºC arasında olması gerekmektedir (Ekmekyapar ve Örüng 1993)

Soğutma işleminin renk üzerine direkt etkisi bulunmaktadır. Aşırı hızlı soğutma üründe çatlama ve diğer özürlere neden olmaktadır. (Şahin, 2008).

- **Ürünlerin Fırından Çıkarılması ve Depolanması**

Pişen tuğlalar soğuduktan sonra fırın içerisinden tahliye edilmektedir. Tahliye edilen tuğlalara ayıklama, sınıflandırma, paketleme ve depolama işlemleri yapılmaktadır. Depolanan tuğlalar istenilen yerlere sevkiyat için araçlara yüklenmektedir (Işık, 2004).

3.1.5. Tuğla Numunesi Üretiminde Kullanılan Ekipmanlar

Tez çalışmasında, tuğla numunelerinin üretiminde, fiziksel ve mekanik deneylerin uygulanmasında Türk Standartları baz alınacaktır. Deneyler Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü, Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılacaktır. Üretilen tuğla numunesi beş gözlü çelik kalıp ile şekillendirilmiştir. Tuğla hamurunun daha homojen bir hale gelmesi için manuel çimento mikseri kullanılmıştır. Numunelerin kurutma işleminde etüv fırını, tuğla hamuru oluşumunda kullanılacak malzemelerin miktarlarının belirlemesinde ise hassas terazi kullanılmıştır.

- **Beş Gözlü Çelik Kalıp**

Beş gözlü çelik kalıp, tuğla hamurunun kolayca çıkarılması için parçalı olarak imal edilen ve kalıp montajı oldukça pratik olan kalıp 40x40x160 mm boyutundadır (Fotoğraf 3.12).

Fotoğraf 3.12. Üç gözlü çelik kalıp

- **Manuel Çimento Mikseri**

Yaklaşık 5 litrelik karıştırma kabı ve karıştırma paletinden oluşmaktadır. Karıştırma hızı manuel olarak seçilmekte ve malzemenin kolayca dökülebilmesi için cihaz üzerinde bir adet huni yer almaktadır (Fotoğraf 3.13).

Fotoğraf 3.13. Manuel çimento mikseri

- **Etüv Fırını**

Üretimde kullanılacak malzemelerin ve üretilen numunelerin bünyelerindeki suyu atması için kullanılan, 120 litre kapasiteye sahip ve +200 °C ye kadar ısınabilmektedir (Fotoğraf 3.14).

Fotoğraf 3.14. Etüv Fırını

- **Hassas Terazi**

Üretime katılacak malzemelerin ağırlık tartımları için kullanılan. ±0,1 gr hassasiyete sahip terazidir (Fotoğraf 3.15).

Fotoğraf 3.15. Hassas terazi

3.2. Yöntem

3.2.1. Bor Atığı ve Perlit Katkılı Tuğla Numunelerinin Üretimi

Bor atığı katkılı numunelerin üretimi Sinop ili Boyabat ilçesinde bulunan Emek Tuğla Fabrikası Ar-ge laboratuvarında yapılmıştır.

Deneysel çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan bor atığı (Fotoğraf 3.16a) Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nden, genleştirilmiş perlit (Fotoğraf 3.16b) ise Erzincan'da bulunan Persan A.Ş'den alınmıştır. Ana malzeme olan killi

toprak ise Kastamonu ili Taşköprü ilçesinde bulunan killi toprak yığınlarından (Fotoğraf 3.17) alınmıştır.

(a) (b)

Fotoğraf 3.16. (a), Bor atığı, (b), Genleştirilmiş perlit

Fotoğraf 3.17. Deneylerde kullanılan killi toprak

Ana malzeme çeyrekleme metodu yöntemiyle alınarak laboratuvar tipi merdaneli ezicide öğütüldükten sonra 1mm'lik elek altı malzeme elde edilmiştir. Üretimde katkı maddesi olarak kullanılacak olan bor atığı ve genleştirilmiş perlite de aynı işlemlere uygulanmıştır. Tuğla hamuru için hazırlanan reçete Tablo 3.17' de verilmiştir. Yoğurma suyu hazırlanan numunelere her bir karışıma toplam malzeme ağırlığının %20'si oranında ilave edilmiştir. Tabloda *%5 BT;* %5 oranında bor atığı katkılı tuğlayı, *%5 P;* %5 oranında perlit katkısını, *%10 BT;* %10 oranında bor atığı katkılı tuğlayı, *%15 BT;* %15 oranında bor atığı katkılı tuğlayı, *%20 BT;* %20 oranında bor atığı katkılı tuğlayı ifade etmektedir.

Tablo 3.17. *Karışım oranları reçetesi*

Reçete	Killi Toprak (%)	Bor Atığı Katkısı (%)	Perlit Katkısı (%)	Su (%)
Referans Numune	100	-	-	20
%5BAT+%5P	90	5	5	20
%10BAT+%5P	85	10	5	20
%15BAT+%5P	80	15	5	20
%20BAT+%5P	75	20	5	20

Numuneler ilk olarak etüv fırınında, etüv kurusu haline getirilmiştir. Ardından hassas terazide tartılarak reçetede verilen oranlarda alınmıştır. Malzemelerle önce kuru karışım yapılmıştır. Daha sonra su ilave edilerek mikserle karıştırılmıştır. Oluşturulan hamur rutubetini kaybetmeyecek biçimde 24 saat dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlendirildikten sonra mikserde içinde hava kabarcığı kalmayıncaya kadar karıştırılmıştır. Plastik kıvamda hazırlanan karışım çelik kalıplara dökülmüştür. Fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için toplam 210 adet numune üretilmiştir.

Deney numuneleri 24 saat normal hava şartlarında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Çıkarılan yarı mamül tuğla numuneleri, yarı açık bir alanda 7 gün boyunca kurutulmuştur. Kuruyan tuğla malzemesi için uygun pişirme sıcaklığı olan 900 °C sıcaklıkta (Uslu ve Arol, 2004), zaman ayarlı elektrikli kül fırınında 8 saat boyunca pişirilmiştir. Pişirme işlemi bitip numuneler soğuduktan sonra fırından çıkarılmıştır. Çıkarılan tuğla numuneleri Şekil 3.18'de görüldüğü gibi + 21°C getirilmiştir. Numunelere mekanik ve fiziksel özelliklerinin tespiti için çeşitli deneyler uygulanmıştır.

Şekil 3.18. Numunelerin soğumaya bırakılması

3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler

Numuneler fiziksel özelliklerinin tespiti için;

- Özgül Ağırlık,
- Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık,
- Porozite,
- Kılcal Su Emme,
- Donma-Çözünme Etkisi deneylerine tabi tutulmuştur.

Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan deneylerde toplam 150 adet numune kullanılmıştır (Tablo 3.18).

Tablo 3.18. *Fiziksel deneyler için kullanılan numune sayıları*

	REF	**%5BT+%5 P**	**%10BT+%5 P**	**%15BT+%5 P**	**%20BT+%5 P**
Özgül Ağırlık	6	6	6	6	6
Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık	6	6	6	6	6
Kılcal Su Emme	6	6	6	6	6
Porozite	6	6	6	6	6
Donma-Çözünme Etkisi	6	6	6	6	6

3.2.2.1. Özgül ağırlık

Özgül ağırlık deneyi TS EN 771-1+A1, 2015 "Kâgir Birimler- Özellikler- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)" standardı baz alınarak yapılmıştır. Öncelikle numunelerin özgül ağırlıklarını ölçmek için, boşluklu numune kuru halde öğütülerek ince toz haline getirildikten sonra 74 mikron göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elekten geçen ince tozların bir kısmı değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numune hassas terazide tartılarak kütlenin ağırlığı bulunmuştur. Aynı kütle piknometreye konarak hacmi ölçülmüştür. Kütlenin ağırlığının hacme bölünmesi ile özgül ağırlık değeri hesaplanmıştır (Formül 3.1).

$$\text{Özgül Ağırlık (g/cm}^3\text{)} = P/V \quad (3.1)$$

P: Kütlenin ağırlığı
V: Kütlenin hacmi

3.2.2.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

Numuneler su dolu bir kap içerisinde 3 saat boyunca kaynatılarak suya doygun hale getirilmiştir. Ardından su dolu bir kap içerisinde asılı ağırlıkları (P_3) ölçülmüştür. Daha sonra numune yüzeyi kuru bir bezle silinerek yüzey kuru hale getirilmiştir. Suya doygun yüzey kuru ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tartılmıştır (P_2). Havada ve suda ölçüm işlemi tamamlanan numuneler etüv fırınında +105 ^{0}C' de, 24 saat boyunca kurutulup değişmez ağırlıklarına geldikten sonra tekrar tartılmıştır (P_1) (Sürül, 2015). Elde edilen değerler Formül 3.2'de yerine konularak suya doygun birim hacim ağırlık hesaplanmıştır.

$$\text{Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = P1/P2\text{-}P3 \quad (3.2)$$

P_1: Kuru ağırlık
P_2: Suya doygun havadaki ağırlık
P_3: Suya doygun sudaki ağırlık

3.2.2.3. Porozite

Numuneler üzerinde uygulanan porozite deneyi TS EN 772-4 "Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini" standardına baz alınmıştır. Numuneler, su dolu bir kap içerisinde 3 saat süreyle kaynatılmıştır. Süre sonunda su dolu bir kap içerisinde asılı ağırlıkları (P_3) ölçülmüştür. Daha sonra numune yüzeyi kuru bir bezle silinerek yüzey kuru hale getirilmiş ve suya doygun yüzey kuru

ağırlıkları hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür (P_2). Havada ve suda ölçüm işlemi tamamlanan numuneler etüv fırınında +105 ^{0}C' de 24 saat boyunca kurutulup değişmez ağırlıklarına geldikten sonra tekrar tartılmıştır (P_1). Bulunan değerler formül 3.4' te verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\textbf{Porozite (\%)} = \textbf{((P2-P1) / (P2-P3)) x 100} \qquad (3.4)$$

P_1: Kuru ağırlık

P_2: Suya doygun havadaki ağırlık

P_3: Suya doygun sudaki ağırlık

3.2.2.4. Kılcal su emme

Numuneler öncelikle 24 saat süreyle etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numunelerin ilk olarak hassas terazi yardımıyla kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Numunelerin dört bir tarafının suya temas etmemesi için 1cm yükseklikle parafin ile kaplanmıştır. Daha sonra parafin kaplı, taban ölçüleri 4x4 cm olan numunelerin taban yüzeyleri su yüzeyi ile temas edecek şekilde ızgaralı 1 cm yüksekliğinde su dolu kaba yerleştirilmiştir. Numunelerin 60, 120 ve 180 dakikadaki ağırlık tespit edilmiştir. 180 dakika sonunda (Fotoğraf 3.19 (a,b,c)) numuneler hassas terazi ile ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri Formül 3.3'te yerine konularak kılcal su emme miktarları belirlenmiştir. Numunelere uygulanan kılcal su emme deneyi için TS EN 772-11 "Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini" sayılı standardı baz alınmıştır.

(a) (b) (c)

Fotoğraf 3.19. a) 60 dakika, b) 120 dakika, c) 180 dakika sonrası numune görüntüleri

$$\textit{Kılcal Su Emme (Kapilarite) (gr):}\ m_{son}\text{-}m_{ilk} \tag{3.3}$$

m_{son}: Son ağırlık

m_{ilk}: İlk ağırlık

3.2.2.5. Donma-çözünmenin basınç üzerine etkisi

Donma-çözülme deneyi TSE CEN/TS 12390-9 "Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 9: Buz Çözücü Tuzlarla Donma-Çözünme Direnci – Ölçeklendirme" standardına göre uygulanmıştır. İlk etapta tuğla numuneleri 60 dak. süreyle suda bekletilmiştir. Kuru bir bez yardımıyla yüzey kuru hale getirilen numunelere, -20 ^{0}C' de 120 dak. donma işlemi uygulanmıştır. Donma işlemi sonrasında 60 dak. çözünme işlemi uygulanmıştır. Donma-çözünme döngü 20 kez tekrarlanarak deney tamamlanmıştır. Deney sonunda donma-çözünmenin basınç dayanımına üzerindeki etkisi hesaplanmıştır (TSE CEN/TS 12390-9, 2017). Bu işlem BESMAK marka donma çözünme deney cihazında yapılmıştır (Fotoğraf 3.20).

Fotoğraf 3.20. Donma-çözünme deney cihazı

Donma-Çözünme Etkisi = ((Basınç Dayanımı-Donma-Çözünmeden Sonraki Basınç Dayanımı) / Basınç Dayanımı) x 100

(3.5)

3.2.3. Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler

Tez kapsamında bor atığı ve perlit katkılı üretilen tuğla numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti için;

- Basınç Dayanımı (TS EN 772-1, 2012)
- Eğilmede Çekme Dayanımı deneyleri (TS EN 772-6, 2004 standardına göre) yapılmıştır.

Numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 60 adet tuğla numunesi deneye tabi tutulmuştur (Tablo 3.19).

Tablo 3.19. *Mekanik deneyler için kullanılan numune sayıları*

	REF	**%5BT+%5 P**	**%10BT+%5 P**	**%15BT+%5 P**	**%20BT+%5 P**
Basınç Dayanımı	6	6	6	6	6
Eğilmede Çekme Dayanımı	6	6	6	6	6

3.2.3.1. Basınç dayanımı

Deney TS EN 772-1, 2012 "Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini" standardı baz alınarak yapılmıştır. Numuneler Fotoğraf 3.21'de verilen bilgisayar kontrollü basınç presinde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Tuğla numuneleri etüv fırınında +105 ^{0}C' de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Basınç dayanımı değeri kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesi sonucu elde edilmiştir. Deney Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Fotoğraf 3.21. Basınç dayanımı deneyi

3.2.3.2. Eğilmede çekme dayanımı

Deney Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney yapılmadan önce katkılı tuğla numuneleri değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından eğilmede çekme dayanımı deneyi Fotoğraf 3.22'de görüldüğü gibi yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilmiştir. Numunelerin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi ile üç noktadan uygulanarak yapılmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deneyi BESMAK marka cihazla yapılmıştır (TS EN 772-6, 2004).

Fotoğraf 3.22. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde referans, farklı oranlarda bor atığı ve %5 perlit katkılı numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları başlıklar halinde sunulmuştur.

4.1. Bor Atığı ve Perlit Katkılı Numunelerin Değerlendirilmesi

Bor atığı ve perlit katkılı numunelerin değerlendirilmesi başlığı altında bor atığı ve perlit katkılı üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler sonucu elde edilen sonuçlar verilmiştir.

4.1.1. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 4.1'de bor atığı katkılı ve referans numunelere ait donma-çözünme deneyi öncesi ve donma-çözünme deneyi sonrasındaki basınç değerleri sunulmuştur. REF; referans numunesini, %5 BT; %5 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %10 BT; %10 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %15 BT; %15 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %20 BT; %20 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %5 P; %5 oranında perlit katkılı numuneleri ifade etmektedir. N1-N6 numune sayılarını göstermektedir.

Tablo incelendiğinde; %5 oranında perlit ilavesinin sabit tutulup bor atığı katkı miktarının arttırıldığı görülmektedir. Bor atığın miktarının artması ile üretilen tuğla numunelerinin basınç dayanımında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu düşüşün nedeni pişirme sırasında perlitin tuğla numunesi bünyesinde oluşturduğu gözeneklerin içerisine camsı faza geçen bor atığı miktarının dolmasıyla donma- çözünme sonrasında kırılgan bir yapıya sahip olmasıdır. Elde edilen deney sonuçlarına göre; en iyi sonuç %20 oranında bor atığı ve %5 oranında perlit katkılı tuğla numunelerinden elde edilmiştir.

Tablo 4.1. *Referans ve katkılı numunelere ait basınç dayanımı ve donma-çözünme sonrası basınç dayanımı değerleri*

Bor atığı ve Perlit katkılı numune değerleri (MPa)							
		N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**
Basınç Dayanımı	**REF**	19,60	19,61	19,60	19,63	19,64	19,64
	%5BT+%5 P	21,09	21,09	21,12	21,15	21,12	21,15
	%10BT+%5 P	25,48	25,52	25,48	25,44	25,44	25,52
	%15BT+%5 P	28,72	28,85	28,92	28,82	28,78	28,83
	%20BT+%5 P	30,40	30,40	30,42	30,42	30,46	30,42
Donma-Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	**REF**	14,65	14,65	14,66	14,66	14,67	14,67
	%5BT+%5 P	15,83	15,92	15,85	15,80	15,85	15,85
	%10BT+%5 P	19,24	19,26	19,27	19,23	19,21	19,24
	%15BT+%5 P	22,90	22,91	22,93	22,92	22,94	22,92
	%20BT+%5 P	26,84	26,87	26,85	26,86	26,88	26,86

4.1.1.1. Özgül ağırlık

Tablo 4.2'de tuğla numune değerlerinin özgül ağırlıkları verilmiştir. Referans numune değerleri 2,58-2,62 gr/cm^3 arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların özgül ağırlıkları 2,54-2,59 gr/cm^3 arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,48-2,51 gr/cm^3, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,40-2,44 gr/cm^3, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 2,33-2,36 gr/cm^3 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.2. *Üretilen tuğla numunelerinin özgül ağırlık değerleri*

	Özgül Ağırlık Değeri (gr/cm^3)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	2,60	2,62	2,59	2,61	2,60	2,58	2,60
%5BT+%5 P	2,54	2,56	2,54	2,58	2,59	2,55	2,56
%10BT+%5 P	2,48	2,47	2,51	2,49	2,50	2,48	2,49
%15BT+%5 P	2,40	2,40	2,43	2,44	2,42	2,43	2,42
%20BT+%5 P	2,35	2,34	2,33	2,36	2,38	2,36	2,35

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 2,60 gr/cm^3, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların

2,56 gr/cm^3, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,49 gr/cm^3, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,42 gr/cm^3, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 2,35 gr/cm^3 olduğu gözlenmiştir.

4.1.1.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

Tablo 4.3'de tuğla numune değerlerinin suya doygun birim hacim ağırlıkları verilmiştir. Referans numune değerleri 1,88-1,93 gr/cm^3 arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların suya doygun birim hacim ağırlıkları 1,83-1,88 gr/cm^3 arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 1,85-1,89 gr/cm^3, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 1,90-1,95 gr/cm^3, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 1,96-2,01 gr/cm^3 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.3. *Üretilen tuğla numunelerinin suya doygun birim hacim ağırlık değerleri*

	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık Değeri (gr/cm^3)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	1,92	1,90	1,87	1,90	1,88	1,93	1,90
%5BT+%5 P	1,86	1,88	1,85	1,83	1,83	1,85	1,85
%10BT+%5 P	1,89	1,85	1,86	1,87	1,84	1,85	1,86
%15BT+%5 P	1,93	1,91	1,90	1,90	1,95	1,93	1,92
%20BT+%5 P	1,98	1,97	1,99	1,97	2,01	1,96	1,98

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 1,90 gr/cm^3, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların 1,85 gr/cm^3, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 1,86 gr/cm^3, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 1,92 gr/cm^3, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 1,98 gr/cm^3 olduğu gözlenmiştir.

4.1.1.3. Porozite

Tablo 4.4'de tuğla numunelerinin porozite değerleri verilmiştir. Referans numune değerleri %27,2-%27,7 arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların porozite değerleri %23,6-%27,0 arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların %25,7-%26,4, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların %25,2-%25,8, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise %24,1-%25,6 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.4. *Üretilen tuğla numunelerinin porozite değerleri*

	Porozite Değeri (%)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	27,4	27,2	27,4	27,2	27,5	27,7	27,4
%5BT+%5 P	26,6	26,8	26,6	27,0	27,0	26,8	26,8
%10BT+%5 P	25,8	25,8	26,3	26,4	26,0	25,7	26,0
%15BT+%5 P	25,3	25,6	25,8	25,5	25,2	25,6	25,5
%20BT+%5 P	24,9	24,9	24,8	24,5	25,6	24,1	24,8

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin %27,4, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların %26,8, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların %26,0, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların %25,5, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise %24,8 olduğu gözlenmiştir.

4.1.1.4. Kılcal su emme

Tablo 4.5'de tuğla numunelerinin kılcal su emme miktarları verilmiştir. Referans numune değerleri 97-99 gr arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların kılcal su emme miktarı 93-97 gr arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 94-98 gr, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 95-100 gr, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 100-104 gr arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.5. *Üretilen tuğla numunelerinin kılcal su emme miktarları*

	Kılcal Su Emme Miktarı (gr)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	97	97	99	98	98	99	98
%5BT+%5 P	93	95	94	97	96	95	95
%10BT+%5 P	96	96	97	95	94	98	96
%15BT+%5 P	100	95	96	100	98	99	98
%20BT+%5 P	103	101	102	100	104	100	102

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 98 gr, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların 95 gr,

%10BT+%5 P katkılı tuğlaların 96 gr, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 98 gr, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 102 gr olduğu gözlenmiştir.

4.1.1.5. Donma-çözünmenin basınç dayanımına etkisi

Tablo 4.6'da tuğla numunelerinin donma-çözünmenin basınç dayanımına etki değerleri verilmiştir. Referans numune değerleri %25,25-%25,31 arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların donma-çözünmenin basınç dayanımına etkisi %24,5-%25,29 arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların %23,59-%24,60, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların %20,26-%20,71, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise %11,61-%11,73 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.6. *Üretilen tuğla numunelerinin donma-çözünmenin basınç dayanımına etkisi değerleri*

	Donma-Çözünmenin Basınç Dayanımına Etkisi (%)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	25,25	25,29	25,20	25,31	25,30	25,30	25,27
%5BT+%5 P	24,94	24,51	24,95	25,29	24,95	25,05	24,94
%10BT+%5 P	23,59	24,52	24,37	24,41	24,48	24,60	24,32
%15BT+%5 P	20,26	20,58	20,71	20,47	20,29	20,49	20,46
%20BT+%5 P	11,71	11,61	11,73	11,70	11,81	11,70	11,71

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 98 gr, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların 95 gr, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 93 gr, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 90 gr, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 88 gr olduğu gözlenmiştir.

4.1.2. Numunelere Uygulanan Mekanik Deney Sonuçları

Bor atığı ve perlit katkılı üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için;

- Basınç dayanımı deneyleri (TS EN 772-1, 2012 standardına göre)
- Eğilmede çekme dayanımı deneyleri (TS EN 772-6, 2004 standardına göre) uygulanmıştır.

4.1.2.1. Basınç dayanımı

Tablo 4.7 de tuğla numunelerinin donma-çözünmenin basınç dayanım değerleri verilmiştir. Referans numune değerleri 19,60-19,64 MPa arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların basınç dayanımı değerleri 21,09-21,15 MPa arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 25,44-25,52 MPa, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 28,72-28,92 MPa, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 30,40-30,46 MPa arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.17. *Üretilen tuğla numunelerinin basınç dayanımı değerleri*

	Basınç Dayanımı Değeri (MPa)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	19,60	19,61	19,60	19,63	19,64	19,64	19,62
%5BT+%5 P	21,09	21,09	21,12	21,15	21,12	21,15	21,12
%10BT+%5 P	25,48	25,52	25,48	25,44	25,44	25,52	25,48
%15BT+%5 P	28,72	28,85	28,92	28,82	28,78	28,83	28,82
%20BT+%5 P	30,40	30,40	30,42	30,42	3,46	30,42	30,42

Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 19,62 MPa, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların 21,12 MPa, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 25,48 MPa, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 28,82 MPa, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 30,42 MPa olduğu gözlenmiştir.

4.1.2.2. Eğilmede çekme dayanımı

Tablo 4.8 de tuğla numunelerinin eğilmede çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Referans numune değerleri 2,37-2,41 MPa arasında değişmektedir. %5BT+%5 P katkılı tuğlaların eğilmede çekme dayanımı değerleri 2,49-2,55 MPa arasında değişirken, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,60-2,66 MPa, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,76-2,80 MPa, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 2,83-2,88 MPa arasında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.18. *Üretilen tuğla numunelerinin eğilmede çekme dayanımı değerleri*

	Eğilmede Çekme Dayanımı Değeri (MPa)						
	N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**	**ORT**
REF	2,37	2,38	2,41	2,43	2,40	2,41	2,40
%5BT+%5 P	2,52	2,55	2,55	2,52	2,49	2,49	2,52
%10BT+%5 P	2,60	2,61	2,63	2,64	2,66	2,64	2,63
%15BT+%5 P	2,76	2,77	7,80	2,78	2,79	2,78	2,78
%20BT+%5 P	2,84	2,83	2,86	2,85	2,88	2,84	2,85

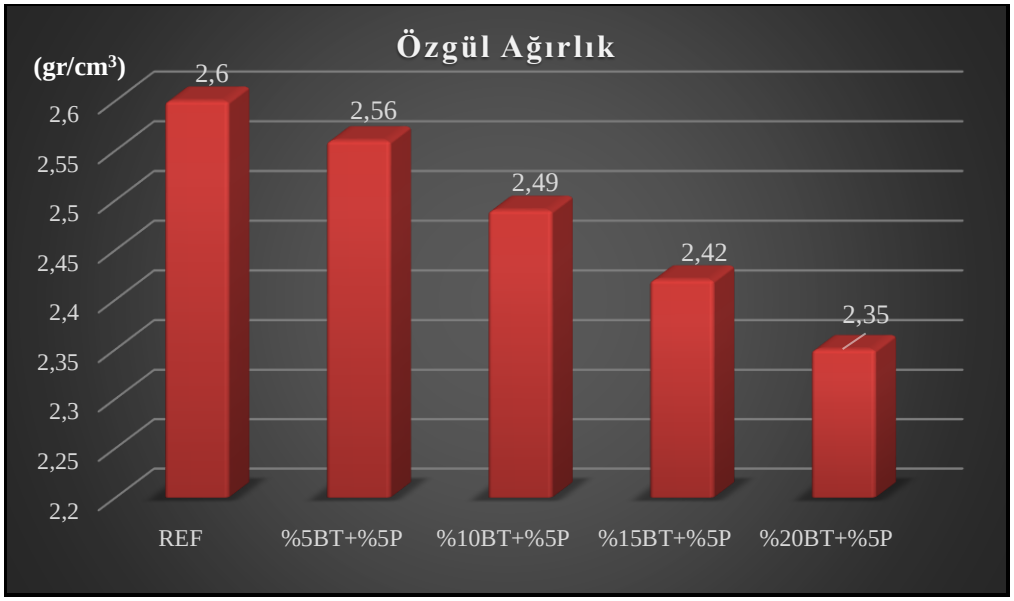
Altı numunenin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; Referans tuğla numunesinin 2,40 MPa, %5BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,52 MPa, %10BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,63 MPa, %15BT+%5 P katkılı tuğlaların 2,78 MPa, %20BT+%5 P katkılı tuğlaların ise 2,85 MPa olduğu gözlenmiştir.

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.2.1. Özgül Ağırlık

Şekil 4.1'de referans (REF), %5 oranında perlit katkı maddesi sabit tutularak (%5P) ve farklı oranlarda bor atığı katkısı (%5, %10, %15, %20) ilavesiyle üretilen tuğla numunelerinin özgül ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Grafik incelendiğinde, referans numunesinin özgül ağırlığının perlit ve bor atığı katkılı tuğla numunelerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Katkılı numuneler arasında mukayese yapıldığında en yüksek özgül ağırlığın %5BT+%5 P katkılı tuğla numunesinden elde edildiği, en düşük özgül ağırlığın ise %20 BT+ %5P katkılı tuğla numunesinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak bor atığı miktarının artmasıyla tuğla numunelerinin özgül ağırlıklarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

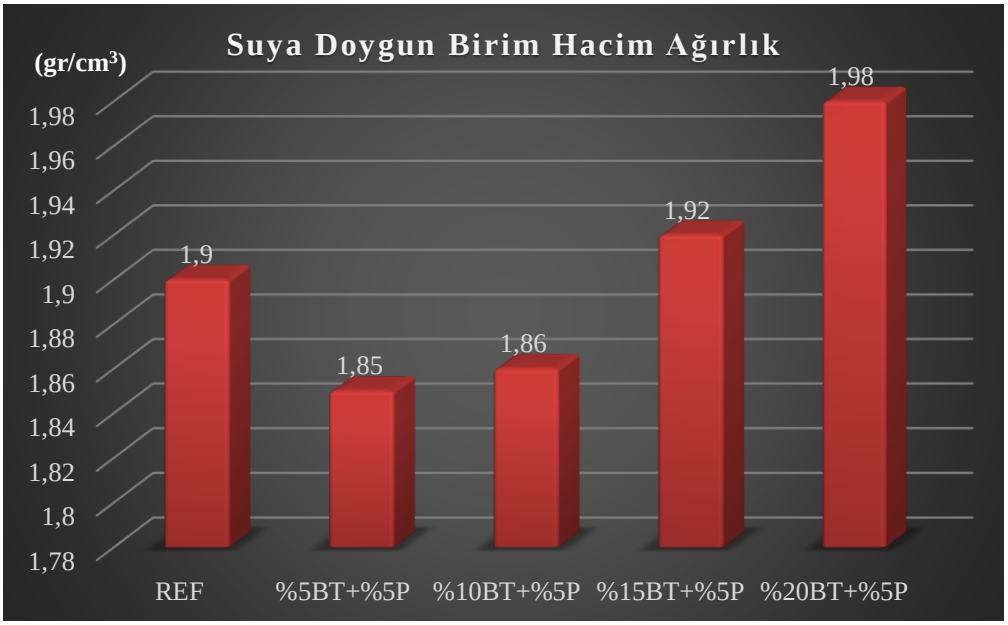


Şekil 4.1. Numunelerin özgül ağırlıklarının karşılaştırılması

4.2.2. Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık

Numunelere uygulanan suya doygun birim hacim ağırlık deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.2'de verilmiştir.

%20 BT+%5P katkılı tuğla numunesi 1,98 gr/cm^3 suya doygun birim hacim ağırlık değeri ile en yüksek numune olduğu görülmektedir. Bu tuğla numunesini 1,92 gr/cm^3 ile %15 BT+%5P katkılı tuğla numunesi takip etmektedir. Suya doygun birim hacim ağırlık değeri en düşük olan numunesi ise %5 BT+%5P katkılı tuğla numunesidir. %5 BT+%5P katkılı tuğla numunesi suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinin düşük olduğu için atmosfer şartlarına maruz kalacak olan ve yapı kabuğunu oluşturan tuğla numunelerinin, yağmur ve kar sularına karşı diğer numunelere göre daha dayanıklı olacağı görülmektedir.

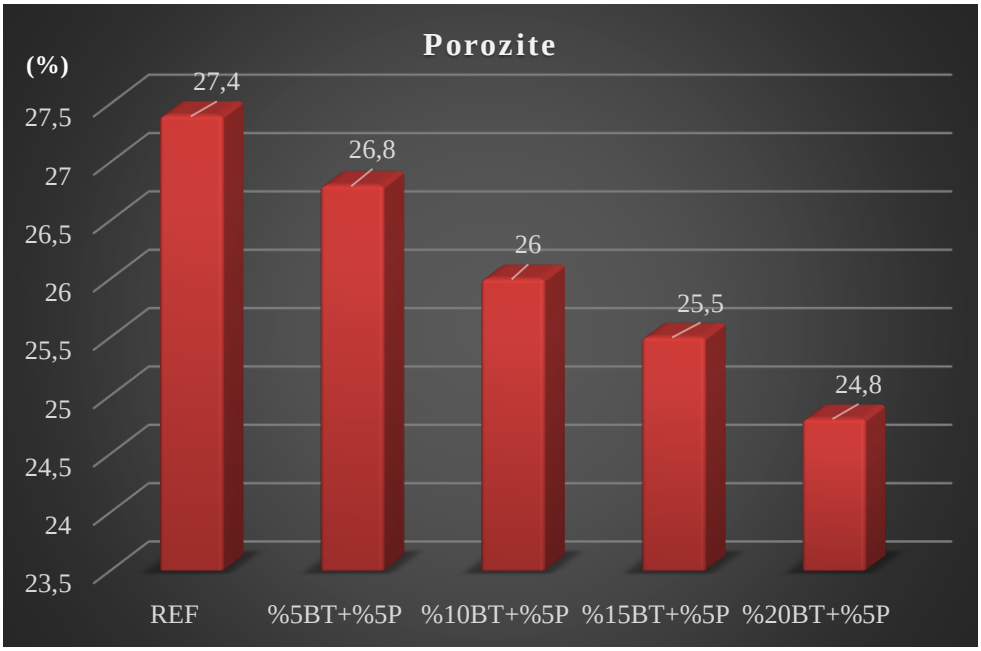


Şekil 4.2. Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

4.2.3. Porozite

Şekil 4.3'deki grafik malzeme bünyesindeki boşluk anlamına gelen porozite değerlerinin karşılaştırılmasının yapılması için verilmiştir.

Grafikte referans numunesinin boşluk oranının bor atığı ve katkılı numunelere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bor atığı ve perlit katkılı tuğla numunelerinde %26,8 oranla en yüksek porozite değeri %5BT+%5P katkılı tuğla numunesine aittir. En düşük porozite değerine ise %24,8 oranla %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesi sahiptir. Perlit katkısı her ne kadar tuğla numunesi bünyesinde boşluk oluştursa da pişirme sırasında borun camsı faza geçerek boşlukları doldurmaktadır. Bu nedenle tuğla numunesinde bor atığı katkı miktarının artmasıyla porozite değerinde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 4.3. Numunelerin porozite değerlerinin karşılaştırılması

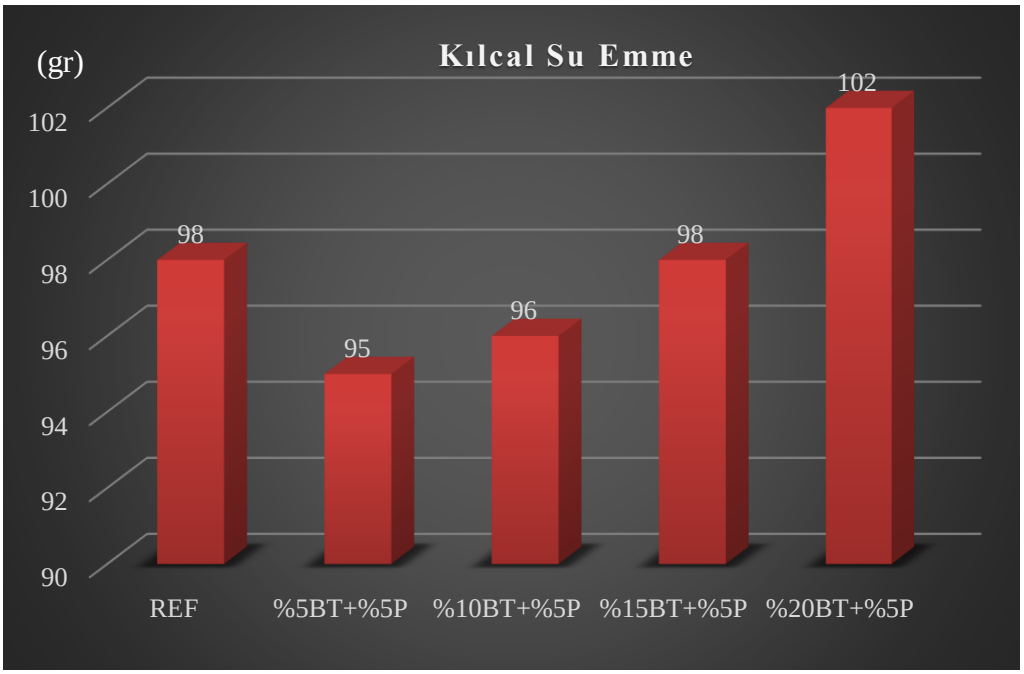
4.2.4. Kılcal Su Emme

Malzemelerin kılcal su emme miktarı yapılarında bulunan boşluk oranı ile doğru orantılıdır. Düzenli ve katı halde bulunan bir malzemenin iç yapısında görülen veya görülmeyen kılcal boşluklar yeralmaktadır (Akyıldız, 2012). Kılcal su emme miktarı bu boşlukların almış olduğu su miktarına denilmektedir. Referans, bor atığı ve perlit katkılı tuğla numuneleri üzerinde uygulanan kılcal su emme deneyi sonuçları kıyaslama yapılmak üzere Şekil 4.4'de verilmiştir.

Grafikte, en yüksek kılcal su emme miktarı %20Bt+%5 P katkılı tuğla numunesinde görülmektedir. %20Bt+%5 P katkılı tuğla numunesini, 98 gr ile referans numunesi ve %15Bt+%5 P katkılı tuğla numunesi, 96 gr ile %10BT+%5P katkılı tuğla numunesi ve 95 gr ile %5BT+%5P katkılı tuğla numunesi takip etmektedir. %5BT+%5P katkılı tuğla numunesi 95 gr ile en düşük kılcal su emme miktarına sahiptir.

Ayrıca grafikte kılcal su emme miktarı bazında optimum katkı oranının %5BT+%5P olduğu görülmektedir. Bor atığı katkısının artması yapı dış kabuğunu oluşturan tuğla numuneleri üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Yağmur, kar gibi hava şartlarına maruz kalabilecek tuğla numunelerinin kılcal su emme miktarının yüksek olması yapı içi konfor şartlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Yapı içi konfor şartlarının yanı sıra

yapı kabuğunun su emiliminin artmasıyla kabuk içerisinde bozulmalar meydana gelecektir. Bu da yapının kullanım ömrünün kısalmasına neden olacaktır. Çalışmada üretilen tuğla numunesi için en uygun katkı miktarının %5BT+%5P olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Numunelerin kılcal su emme miktarlarının karşılaştırılması

Abalı vd., (2007), çalışmalarında %1, %3, %5, %10 oranlarında bor atığı kullanmışlardır. Bor atığı miktarının artmasıyla su emiliminde azalma fakat %10 bor atığı katkısının su emme miktarında artış meydana getirdiğini vurgulamıştır.

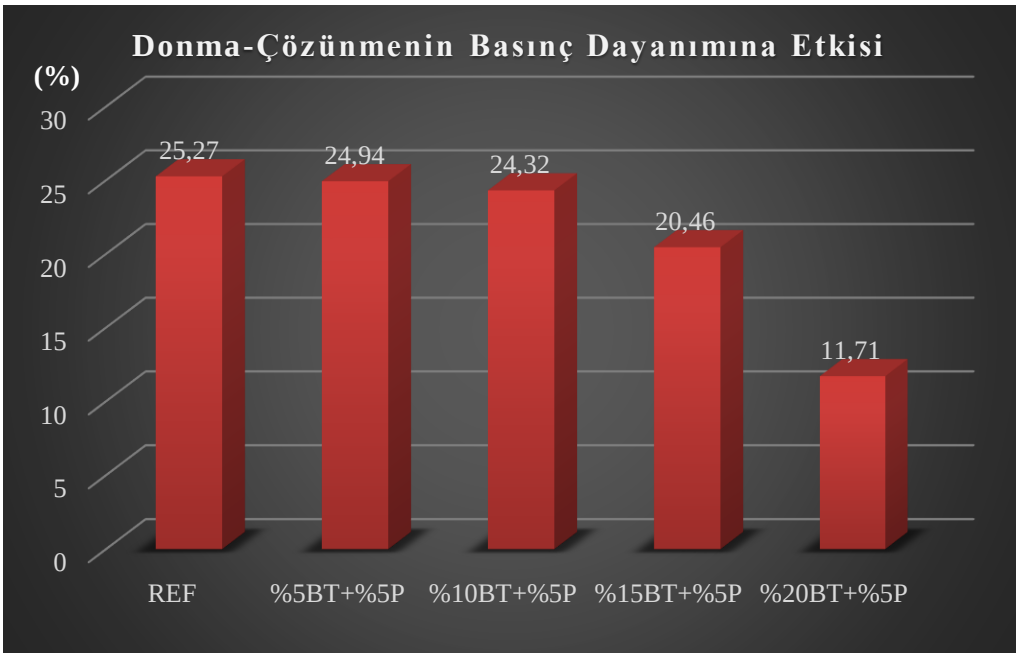
Özkan (2017), yaptığı çalışmada %5, %10, %15, %20 oranında bor atığı kullanmıştır. Üretilen numunenin %0 ila %10 arasında katkı kullanılarak üretilen numunelerin su emme miktarında azalma meydana gelmiştir, %10 katkı oranından sonra su emiliminde artma meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Literatüre katılan bu çalışmalar yapılan tez çalışmasıyla örtüşmekte ve tez çalışmasını destekler niteliktedirler.

4.2.5. Donma-Çözünmenin Basınç Dayanımına Etkisi

Referans, bor atığı ve perlit katkılı tuğla numuneleri üzerinde uygulanan donma-çözünme deneyi sonucunda numunelerin donma-çözünmesinin basınç dayanımına etkisini karşılaştırmak için Şekil 4.5 verilmiştir.

Grafik incelendiğinde, referans numune %25,27 oranla diğer numunelere göre en fazla dayanım kazanan tuğla numunesi olmuştur. Referans numunesini %24,94 ile %5BT+%5 P katkılı tuğla numunesi, %24,32 ile %10BT+%5 P katkılı tuğla numunesi, %20,46 ile %15BT+%5 P katkılı tuğla numunesi ve %11,71 ile %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesi takip etmektedir. Grafikte en düşük %11,71 oranı ile %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesi görülsede, bu düşük değer aslında %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesinin dayanım kaybının az olduğunu ifade etmektedir. Yani %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesinin donma çözünme sonrası basınç dayanımı değerinin düşük olması bu numunenin diğer numunelere göre donma çözünme deneyinden daha az etkilendiği anlamına gelmektedir



Şekil 4.5. Numunelerin donma-çözünmenin basınç dayanımına etkisi değerlerinin karşılaştırılması

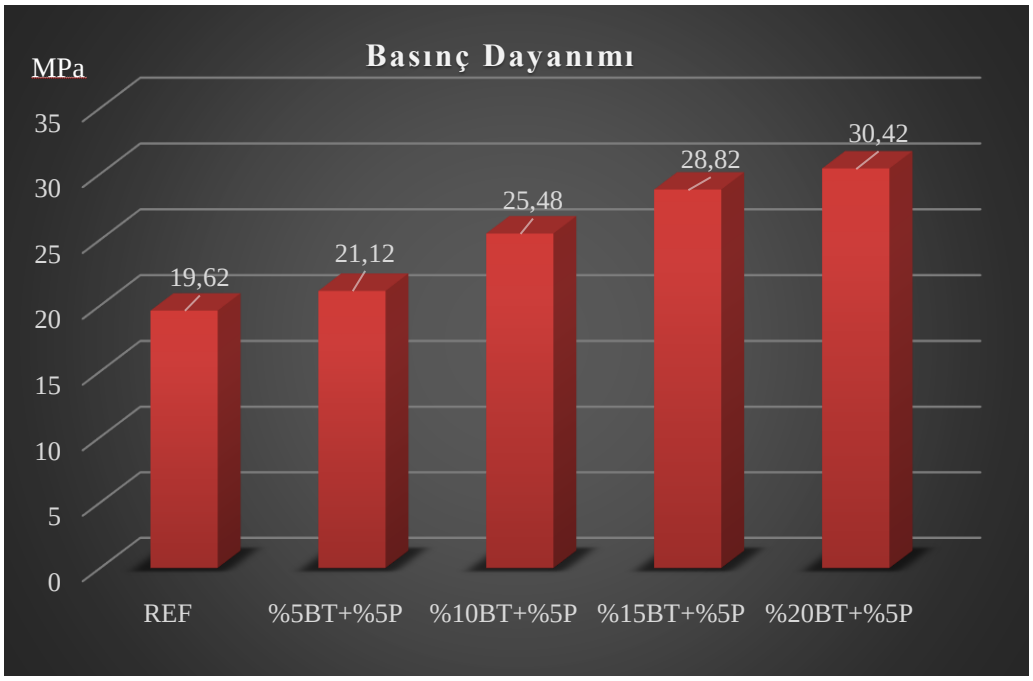
Literatüre bakıldığında; Demirboğa (1999) yapmış olduğu çalışmasında silis dumanı ve uçucu külün, genleştirilmiş perlit ve pomza agregalarının çeşitli karışımları ile üretilen hafif

betonlarda donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmiştir. Bu çalışma tez çalışması kapsamında yapılan donma çözünme deney sonuçlarını destekler niteliktedir.

4.2.6. Basınç Dayanımı

Numunelere ait basınç dayanım değerlerinin verildiği Şekil 4.6'ya bakıldığında; Referans numunesinin en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numunelere bor atığının ilave edilmesiyle tuğla numunelerinin basınç dayanımlarında artış meydana gelmektedir. En yüksek basınç dayanımı 30,42 MPa ile %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesinde sağlanırken, bu tuğla numunesini 28,82 MPa ile %15BT+%5 P katkılı tuğla numunesi, 25,48 ile %10BT+%5 P katkılı tuğla numunesi ve 21,12 MPa ile %10BT+%5 P katkılı tuğla numunesi takip etmektedir.

Perlit katkısı tuğla numunesinin basınç dayanımı düşürücü etkisi olsa da (Ceylan ve Ebeoğlugil, 2002) tuğla bünyesine %5, %10, %15, %20 oranında bor atığı katılması üretilen tuğla numunelerinin basınç dayanımını arttırmaktadır. Basınç dayanımının artması genellikle yapı kabuğunda kullanılacak olan tuğlanın dışardan gelecek etkilere ve yapının hareketli ve ölü yükleri altında dayanımını artması anlamına gelmektedir. Bu durum yapı ömrünü uzatarak bakım onarım masraflarını azaltmasına ve yapının gelecek nesillere aktarılmasına olanak sağlayacaktır.

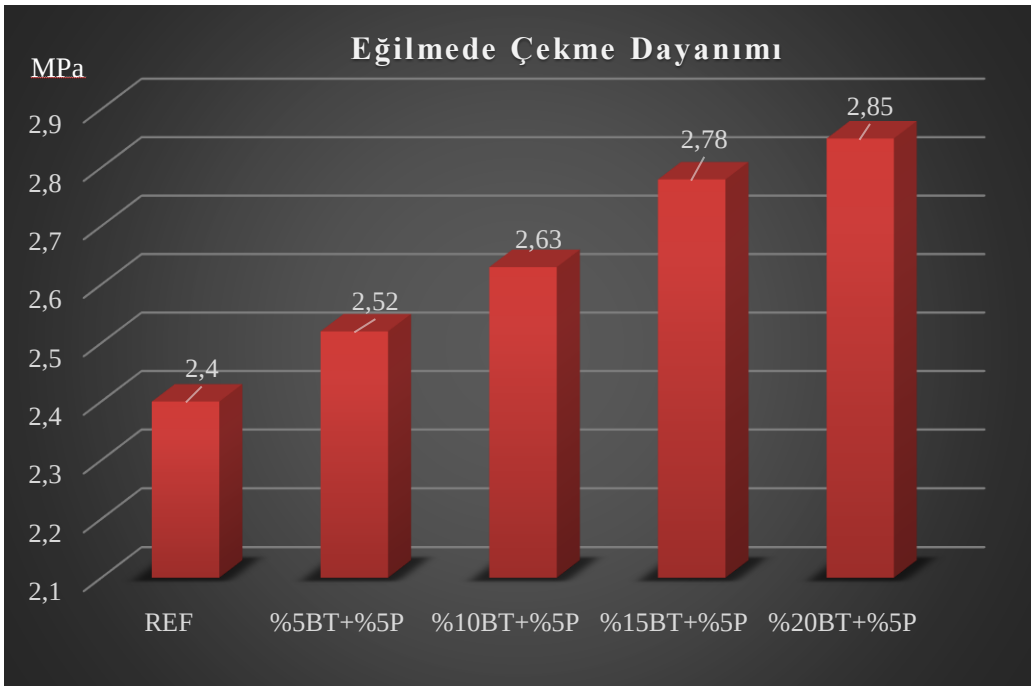


Şekil 4.6. Numunelerin basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Literatüre katılan çalışmalara bakıldığında; Uslu ve Arol (2004), Elbeyli vd., (2004) çalışmalarında %10 oranında bor atığı katılarak üretilen tuğla numunesinin referans numuneye göre basınç dayanımının daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Kavas ve Emrullahoğlu (1999) yaptıkları çalışmada bor atığı katkısıyla imal edilen tuğlaların standart tuğlalara oranla yüksek mukavemet özelliğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Tez çalışması kapsamında yapılan basınç dayanım deney sonuçları literatürde bulunan bu çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2.7. Eğilmede Çekme Dayanımı

Üretilen tuğla numunelerine ait eğilmede çekme dayanım değerlerinin verildiği Şekil 4.9 incelendiğinde; Referans numunesinin en düşük eğilmede çekme dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Perlit oranı %5 ile sabit tutulup bor atığı miktarı arttırılarak üretilen tuğla numunelerinin deney sonuçları bor atığı miktarının artmasıyla eğilmede çekme dayanımının da arttığını göstermektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 2,85 MPa ile %20BT+%5 P katkılı tuğla numunesinde sağlanırken, bu tuğla numunesini 2,78 MPa ile %15BT+%5 P katkılı tuğla numunesi, 2,63 ile %10BT+%5 P katkılı tuğla numunesi, 2,52 MPa ile %5BT+%5 P katkılı tuğla numunesi ve 2,40 MPa ile referans numunesi takip etmektedir.



Şekil 4.7. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Eğilmede çekme dayanımının artması perlit ve bor atığının tuğla numunesine plastik özellik kattığı anlamına gelmektedir. Bu özellik sayesinde üretilen numunelerin yapıda kullanılması deprem anında tuğla duvarların esnemesine yardımcı olarak hasar oranını düşürmeye olanak sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan deneyler doğrultusunda elde edilen sonuç ve öneriler başlıklar halinde sunulmuştur.

5.1. Sonuçlar

- Fiziksel deneylerden biri olan özgül ağırlık deneyinde, En yüksek özgül ağırlığın referans numuneye ait olduğu görülmüştür. Tuğla numunesine %5 perlit oranı sabit tutularak bor atığının %5, %10, %15, %20 oranında artan bir biçimde ilave edilmesi sonucunda özgül ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Tuğla numunelerinde bor atığı katkısının artmasıyla suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde artış meydana gelmiş, en iyi sonuç %5 BT+%5 P oranında katkı ile elde edilmiştir.
- Perlit katkısı suya doygun birim hacim ağırlığının armasına neden olmuştur.
- Bor atığı ve perlit katkılı üretilen tuğla numunelerinin porozite değerleri incelendiğinde %20 BT+%5 P katkılı numunelerin en düşük porozite değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Tuğla numunelerinde perlit %5 oranında sabit tutularak bor atığının miktarının arttırılmasında kılcal su emme miktarında artma olduğu görülmüştür. En iyi sonucu %5BT+%5 P katkı oranına sahi numunelerden elde edilmiştir. %5 oranında kullanılan perlit kılcal su emme oranında artışa neden olmuştur.
- Tuğla numuneleri içerisine ikame edilen bor atığının 900 ^{0}C sıcaklıkta sinterleme için yeterli sıvı fazın oluşturulabileceği görülmüştür. Bu durum ısıtma maliyetine olumlu yönde etki sağlamaktadır.
- Perlit miktarının sabit tutulup bor atığı miktarının arttırılmasının, donma-çözünme sonrası basınç dayanımına pozitif etkileri olmuştur. Bor atığı miktarının artması ile donma-çözünme sonrası basınç dayanım değerinde de artış meydana gelmiştir.

- Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan deneylerden biri olan basınç dayanımı deneyi sonucunda; bor atığı miktarının artmasıyla basınç dayanımında da artış meydana gelmiştir. En iyi sonuç %20 BT+%5 P katkılı tuğla numunelerinden elde edilmiştir.
- Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan bir diğer deney olan eğilmede çekme dayanımı değerlerine bakıldığında; Bor atığı katkı miktarının arttırılmasıyla eğilmede çekme dayanımlarında artış meydana gelmiştir. En iyi sonuç %20 BT+%5 P katkılı tuğla numunelerinden elde edilirken tüm tuğla numunelerinin değerlerinin standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir.
- Tez çalışması kapsamında yapılan deney sonuçlarına göre perlit ve bor atığının tuğla numunesine uygun oranlarda ikame edilmesi durumunda tuğla özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.
- Çalışma kapsamında yapılan basınç dayanımı, donma-çözünmenin basınç dayanımına etkisi, porozite ve özgül ağırlık değerlerine bakıldığında perlit mineralinin uygun oranlarda tuğla üretiminde kullanılabileceği görülmüştür.
- Endüstriyel bir atık olan bor atıklarının tuğla üretim sektöründe kullanılması bertaraf edilerek çevreyi korumasını sağlayacaktır.
- Atıkların uygun sektörlerde kullanılması depolama maliyetlerini düşürecektir.
- Bor atıkların uygun sektörlerde değerlendirilmesi, doğaya bırakılan atıkların hava, su ve toprak kirliliğinin önlenmesinde son derece önemli bir adım olacaktır.
- Perlit ve bor atığı kullanılarak imal edilen tuğlaların yüksek mukavemetli ve elastik özelliğe sahip olması bu tuğlaların deprem kuşağında inşa edilen yapılarda depreme karşı dayanımını arttıracaktır.

5.2. Öneriler

- Cam, seramik, sağlık vb. sektörlerin kullanılan bor atığı inşaat sektörüne de de kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca seramik sektörü başta olmak üzere birçok alanda kullanılan perlit malzemesi de yine inşaat sektörüne katılmalıdır.
- Bor işletmem tesislerinde göletlerde biriktirilen ve çevreye zarar veren bor atıkları geri dönüştürülerek ülke ekonomisine katkıda bulunulmalıdır.

- Türkiye hatta dünya çapında, bor atığının daha geniş alanlarda ve farklı sektörlerde değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmaların sayısı arttırılmalıdır. Bu alanda yapılan çalışmalar literatüre katılmakla kalmayıp sanayide etkin olması sağlanmalıdır.
- Tuğla üretiminde kullanılan bor atığı ve perlit katkı maddesi ile elde edilen sonuçlar daha detaylı araştırılmalı ve endüstriye kazandırılması yönünden ciddi bir şekilde ele alınmalıdır.
- Tez kapsamında üretilen tuğla numunelerinin ısı ve ses yalıtım özellikleri ayrıntılı bir şekilde irdelenebilir.
- Tez çalışması kapsamında bor atığı ve perlit katkılı imal edilen tuğla numunelerinin yangın dayanımı, se emme, komposite gibi fiziksel özelliklerinin tespiti için deneyler yapılabilir. Ayrıca bu tuğla numunelerinin yapısal karakterizasyonu incelenebilir.

KAYNAKLAR

Aker, A. (2011). Uçucu Külle Üretilen Genleştirilmiş Perlit Katkılı Gazbeton Numuneler Üzerinde Kür Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Afyonkarahisar.

Ak, M. (2011). Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Ve Espey Konsantratör Atıklarının Mikrodalga Enerjisi Yardımıyla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kütahya.

Akıncı, Ö. (1967). Seramik killeri ev jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Ankara, 63-72.

Akıncı, Ö. (2001). Seramik killeri ve jeolojisi, IV.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.

Aksin, E. (2007). Endüstriyel Atıklarının Tuğla Ve Kiremit Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İzmir.

Akyıldız, S. (2015). Kırka Boraks Madeni Killerinin Ve İşletme Atıklarının Lityum İçeriği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüs.,* İzmir.

Alemdar, A., Atıcı, O., Güngör, N. (2000). The influence of cationic surfactants on rheological properties of bentonite-water system, Material Letters, (43), 57-61.

Alkan, M., Doğan, M., 2001. Adsorption of Copper +2 on Perlite, Journal of Colloid and Interface Sciences, (243), 280-291 Annabi B. F. (2008). Layered clay minerals, Basic research and innovative composite applications, Microporous and Mesoporous Materials, (107), 141–148.

Avrami E., Guillaund H., Hardy M. (2008). Terra Literature Review: An Overview Research in Earthen Architecture Conservation, The Getty Conservation Institue, Los Angeles.

Ayberk, M. (1995), Perlitin yapı gereci olarak kullanımı ve yapı maliyetine etkisi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyum, 214-224, İstanbul.

Azizi, S. (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Balay, N. (1992). Perlit, Türkiye 1. Tarımda Perlit Sempozyumu Bildirileri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir.

Barker. J. M. ve Santini, K. (2006). Perlite. J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker, S. T. Krukowski, (Eds.). Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets and Uses (7th ed.) USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. (685-702).

Barnes, R. E. (1962). Perlite industry. AİME Transactions (Mining), 223, 180-183

Batar, T. ve Köksal, N. S. (2009). Atık bor, atık kâğıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu, *Ekoloji Dergisi,* 18 (72), 45-59.

Bayca, S. U, Batar, T, Sayın, E., Solak, O. ve Kahraman, B. (2008). The ınfluence of coal ash and tincal (boron mineral) additions on the physical properties and microstructures of ceramic bodies. *Journal of Ceramic Processing Research* (9) 2, 118-122.

Bell, F. G. ve Walker, D.J. (2000). A further examination of the nature of dispersive soils in Natal. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, (33), 187-1999.

Bentli, T., Özdemir, O., Çelik, M. S. ve Ediz, N. (2002). Bor atıkları ve değerlendirilme stratejileri, *I. Uluslararası bor sempozyumu*, Kütahya.

Bergaya, F. ve Lagaly, G. (2013). General introduction: clays, clay minerals, and clay science, *Developments in Clay Science*, (5), 1–19.

Bolen, P, W. (2004). Perlite. USA Mineral Commodity Summaries Annuel, USGS.

Bolen, P. W. (2011). Perlite. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2009.

Boren, (2018). http://www.boren.gov.tr/tr: (Erişim tarihi: 08.08.2018)

Breese, R. O. Y. ve Barker, J. M. (1994). Perlite. D. D. Carr, (Ed.). Industrial Minerals and Rocks (6th ed.), USA: Society for Mining, *Metallurgy and Exploration* (735-747).

Bulut, Ü., Tanaçan, L., (2009). Perlitin auzolanik aktivitesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*/a, (8/1), 81-89.

Bütüner, R. (2011). Emet Bölgesi Düşük Tenörlü Kolemanit Stoklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kütahya.

Büyükçulha, İ. (1987). Perlit katkısının pişmiş toprak malzemenin mekanik ve fiziksel davranışlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Ceylan, A. Ve Ebeoğlugil, M.F. (2002). Hafif ve ısı yalıtımı geliştirilmiş yapı tuğlası üretiminde kil-genleştirilmiş perlit kullanımının araştırılması. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (003), 91-98.

Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y. ve Angelopoulos, G. N. (2009). Use of boron wastes ın the production of heavy clay ceramics, *Ceramics International*, (35) 1, 447-452.

Coşar, Ş., 2006, Demir Konsantrelerinin Peletlenmesinde Bor Mineralleri Ve Atıklarının Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Cultrone, G., Sebastian, E. (2009). Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks, *Construction and Building Materials,* (23), 1178-1184.

Çelik, A. G. (2010). Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi Ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Adana.

Çetin, M. (2003). Değişik Çevresel Koşullar Altında Şişen Zeminlerin Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüs.,* Kütahya.

Çiçek, Y. E. (2002). Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton Ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Çok, G., Erdinç, M., Erdinç, E., (2003). Mesleki Perlit Maruziyetinde Bronkoalveoler Lavaj Sıvısı ve Difüzyon Kapasitesi Sonuçları. *Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Solunum Hastalıkları*, (14), 165-168, İzmir.

Demirboğa, R. (1999). Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Erzurum.

Dırak, S. (2011). Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kütahya.

Diaz, J. J. C., Nieto, P. J. G., Biempica, C. B. ve Gero, M. B. P. (2007). Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hallow brick walls design by the finite element method, *Applied Thermal Engineering,* (27), 1445-1456.

Doğan, H., Şener, F. (2004). Hafif yapı malzemeleri (pomza-perlit-ytong-gazbeton) kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik sonuç ve öneriler. http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/05163a0f0f128e4_ek.pdf.(Erişim Tarihi:07.06.2018)

D.P.T. (1995). Bor Mineralleri, Trona, Sodyum Sülfat, Stronsiyum Mineralleri, Tuz. 2414- ÖİK:474.

D.P.T. (2000). Bor Mineralleri. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara.

DPT, (2001). VIII. Beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayi hammaddeleri çalışma grubu raporu cilt II, Ankara, 179.

DPT, (2004). Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer), 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyon Raporu, 24-49.

DPT, 2008. Kimya sanayi özel ihtisas komisyonu, Bor, soda külü, krom kimyasalları çalışma grubu raporu, Ankara, 138

Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ. (1993). İnşaat Malzeme Bilgisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları* No: 145, Erzurum, 22-36.

Elmas, A. (2014). Çinkonun Perlit ve Kitosan Modifiye Perlit ile Adsorpsiyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Erdem, T.K., Meral, Ç., Tokyay, M., Erdoğan, T.Y. (2007). Use of Perlite As a Puzzolanic Addition in Producing Blended Cement. *Cement and Concrete Composite* (29), 13-21.

Erdoğan, D. (2016). Binkılıç Bölgesi Manganez Ocağı Yakın Çevresindeki Kil Ve Kumların Endüstriyel Hammadde Ve Teknolojik Özelliklerinin İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Erdoğdu, Y. (2015). Dolomit İkamesinin Kil Sıvaların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Düzce.

Erdoğmuş, E. (2006). Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Erkan, Z. E., Akar, A. ve Savaş, M. (2003). Emet bor işletme müdürlüğü hisarcık baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi* (5)1, 161-174.

Eti Maden, 2018. Bor Rezervleri. http://www.etimaden.gov.tr/dunyada-bor-rezervi-55s.htm (Erişim Tarihi: 05.08.2018)

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2009). Bor sektör raporu.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009, Stratejik Plan (2009-2013), www.etimaden.gov.tr, 90s.

Eti Maden, (2018). Bor Hakkında, www.etimaden.gov.tr. (Erişim tarihi: 07.08.2018)

Eyyüboğlu, S. (2013). Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Balıkesir.

Fell, R., Macgregor, P., Stapledon, D. (1992). Geotechnical engineering of embankment dams, Balkema, Rotterdam, 675.

Fındık S. B. (2007). Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Mineral Katkılı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Gökçe, H.S., Durmuş, G., Şimşek, O. (2010). Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Su/Çimento Üzerindeki Etkileri. *Politeknik Dergisi* (13/1), 55-63.

Gökçe, H.S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ. (2010). Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. *Politeknik Dergisi* (13/2), 159-163.

Gökhan, Ç.ve Baytın, D. (1978). Hafif Agregalar ve Perlit. Mimarlik Dergisi, 73-79.

Gönen, T. (2009). Kil Mineralinin Çözeltiden Bakır Ve Nikel İyonlarını Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kahramanmaraş.

Görhan, G. (2011). Çeltik Kavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* Ankara.

Gücek, S. (2011). Mermer Tozu Ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

Gündüz, L. (1998). Pomza teknolojisi: pomza karakterizasyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* cilt 2. Isparta.

Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Çankıran, O. (1998). Pomza Teknolojisi Cilt I (a), Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını.

Güngör, N. (1981). Bentonitik Kil Minerallerinin Yapı ve Özellikleri Üzerine Değişebilen Katyonların Etkilerinin Fiziksel Yöntemlerle İncelenmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Temel Bilimler Fakültesi.* İstanbul.

Hamamcı R.B. (1998). A Study On The Properties Of Perlite Agregate Lightweight Concrete As A Composit Material. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Harben, P. W. ve Kuzwart, M. (1997). Perlite. Industrial minerals: A Global Geology (280-288). Industrial Minerals Information Ltd.

Helvacı, C. (2001). Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, minerolojisi ve depolama ortamları, türkiye borat yatakları. *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Dergisi*, 5-7.

Helvacı, C. ve Ortí, F. (2004). Zoning In The Kirka Borate Deposit, Western Turkey: Primary Evaporitic Fractionation Or Diagenetic Modifications?, *The Canadian Mineralogist,* 42 (4), 1179-1204.

Helvacı, C. (2005). Borates, Encyclopedia Geology, 510-522.

Hemstock, G. A. (1962). The effect of clays upon the optical properties of paper, J. Tappi, (45), 2-5.

Hodul, Y. (2009). Genleştirilmiş Perlit Üretimi Sanayi Profili. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Ankara.

Holzheu, S. ve Hoffmann, H. (2002). Adsorption Study of Cationic Dyes Having a Trimethylammonium Anchor Group on Hectorite Using Electrooptic and Spectroscopic Methods, *J. Colloid Interface Sciences*, (245), 16-23.

Houssa, C. E. (1999). Talking Turkey-an update on the Turkish minerals industry. *Industrial Minerals,* (379), 21-47.

Irmak, P. (2006). Türkiye' de Bor Madeni Ve Ekonomik İncelemesi: Eskişehir-Kırka İşletmesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Eskişehir.

Işık, İ. (2004). Tuğla Ve Kiremit Üretim Teknolojisi, Dumlupınar Üniversitesi, Lisans Ders Notları, Kütahya, 1-5.

İşçi, Y. (2015). Farklı Kil Minerallerinin Nanokompozitlere Etkisi Ve Vermiküler/Polimer Nanokompozitlerinin Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

İzdar, K. E. (1975). Bazı Batı Anadolu perlitleri ve fiziksel özellikleri üzerine bir inceleme. *IV. Türkiye madencilik bilimsel ve teknik kongresi,* Ankara, 557-579.

Kalafatoğlu, İ. E., Örs, S. N. (2003). 21. Yüzyılda bor teknolojileri ve uygulamaları, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 5 (1), 60-71.

Kalaycı, F. (2016). Perlit Esaslı Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.

Kantarcı, A., Türkmen, İ., 2005. Kendiliğinden yerleşen betonların geçirimlilik katsayısı ve mekanik özellikleri üzerine farklı kür şartlarının ve genleştirilmiş perlit agregasının etkileri, *II. Mühendislik bilimleri genç araştırmacılar kongresi,* 361-369, İstanbul. 361-369.

Karakehya, N. (2013). Kil/Polivinil Klorür ve Kil/Poliimid Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.

Karaman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 125-130.

Kurttepeli, Y. (2009). Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.

Kaya, G. (20016). Perlit / Kitosan Kompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu, Elektrokinetik Ve Antimikrobiyal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Isparta.

Khanjarkhanı, A. (2014). Ham Perlit Agregası İle Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı (H2SO4 , HNO3). Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Keskin, F.Ş. (2016). Perlit Ve Taban Külü Katkılı Harç Özelliklerinin Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kocaeli.

Kibici, Y. (2002). Seramik hammaddeleri ve teknolojik özellikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları,* Afyon.

Kiraz, E. (2010). Puzolanik Malzemelerin Hafif Duvar Malzemesi Üretiminde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kocaeli.

Köktürk, U. (2002). Endüstriyel Hammadeler (4. Baskı). *Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları.* İzmir.

Kuzvart, M. (1984). Perlite. Industrial Minerals and Rocks. Developments in Economic Geology, *18. Czech Republic.*

Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, (2001). Kimya sanayi hammaddeleri. (Cilt II), 1.

Malayoğlu U., Akar A. (1995). Killerin sınıflandırmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi. *I. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu,* İzmir.

Marotta, T.W. (2005). Basic construction materials. *Pearson Prentice Hall, 7th ed*., ISBN 0-13-143387-3

Melrose, D. B. (1970). On the theory of type II and type III solar radio bursts I impossibility of nonthermal emission due to combination scattering off thermal fluctuations, *Australian Journal of Physics* (23/5). 871-884.

Minke, G. (2009). Building with Earth, 2. Baskı, 53-57.

Mobbs, P. M. (2004). The mineral ındustry of Turkey, US Geological Survey Minerals Yearbook, 3.

Mordoğan, H, Kılınç, E. ve Tanrıverdi, M., 2001, Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve teknolojisi, *4. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu.* İzmir.

MTA, (1985). Türkiye perlit envanteri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları,* 193, 1-8, Ankara.

MTA, (2011). Türkiye Maden Rezervleri. http://www.mta.gov.tr/v2.0/default. php?id=maden_rezervleri, Erişim Tarihi: 10.06.2018.

Munsuz, N. ve Ataman, Y. (1977). Perlitin topraktaki infiltrasyon ve buharlaşmaya etkisi. *I. Ulusal perlit kongresi bildirileri,* Ankara, 59-63.

Neufert E. (1983). Neufert yapı tasarımı temel bilgileri, Çeviri: Abdullah Erkan, 1rd ed., Güven Yayıncılık, İstanbul.

Okuyucu, E. (2005). Farklı Lif Katkılı Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Erzurum.

Orhun, O. (1969). Perlit. *Madencilik Dergisi,* 8 (4), 213-222.

Ors, S. ve Anapali, O. (2010). Effect of soil addition on physical properties of perlite based media and strawberry cv. Camarosa plant growth. *Scientific Research and Essays,* 5 (22), 3430-3433.

ÖİK. (1995). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Seramik-Refrakter-cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, T.C. BaşbakanlıkDevlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No:DPT, 2418-ÖİK, 477, Cilt-1.

ÖİK. (Özel İhtisas Komisyonu) (2001). Yapı Malzemeleri, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Ankara, s; 105.

Önal, G. (2013). Ham Kil Ve Ticari Kil İle Sulu Çözeltiden Boyar Madde Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Van.

Önem Y. (2000). Sanayi madenleri. 2rd ed., Kozan Ofset, Ankara.

Özdemir, M., Kıpçak, İ ve Öztürk, N. (2003). Bor endüstrisi katı atıklarından boraksın katı sıvı özütleme ile geri kazanılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (5)1, 11-23.

Özdemir, M. ve Öztürk, N. U. (2003). Utilization of clay wastes containing boron as cement additives. *Cement and Concrete Research,* (33) 10, 1659-1661.

Özgenç, İ. ve Sarısözen B. (1999). Gazbeton üretiminde perlit kullanılabilir mi? *3. Endüstriyel hammaddeler sempozyumu,* 81-86, İzmir.

Özorak, C. (2014). Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

Öztürk, M. (2012). Pomza Ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Tekirdağ.

Peryum,(2018).http://www.peryum.com.tr/index.php?pg=teknikbilgi_icerik&teknikbilgi_id=2&dil=t r, (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2018).

Polat, T. (2011). Kil Hamurunu Bir Kimyasal İle Genleştirerek Üretilen Hafif Yapı Elemanı Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Niğde.

Robertson, R. H.S, ve Ward, R. M. (1951). The assay of pharmaceutical clays, *Journal of Pharmacy and Pharmacology,* (3/1), 27-35.

Roskill, N. (2006). The Economics of Boron. 11th Edition, R. Inf. Services Ltd., London.

Sağsöz, A.E. (2007). Farklı Kür Şartlarının Doğal Perlit Agregalı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Sağlam, G. ve Emrullahoğlu, Ö. F. (2004). Kırka bor atığının porselen döküm maddede kullanılabilirliğinin araştırılması. *II. Uluslararası bor sempozyumu,* Eskişehir.

Sarıağaç, G. (2012). Kırka Tinkal Bor Atıklarından Gözenekli Agrega Üretimi Ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

Shackley, D. ve Allen, M. J. (1992). Perlite and the perlite ındustry. Minerals Industry International, *Institution of Mining and Metallurgy Bulletin* (1008), 13-22.

Silber, A., Yosef, B. B., Levkovitch, I. ve Soryano, S. (2010). pH-Dependent surface properties of perlite: Effects of plant growth. *Geoderma,* (158), 275-281.

Sürül, O. (2015). Yüksek Fırın Cürufu Ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Zonguldak.

Şahin, Ş. E. (2008). Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kütahya.

Şahin, M. (2009). Borik Asit Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması. Yüksek Lisans, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

Şişman, C. B., Kocaman, İ. ve Gezer, E. (2006). Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (1): 32-40.

Taban, H., Gökçe, H.S., Abama H.İ. (2012). Çimento katkı malzemesi olarak kullanılan doğal puzolanların ekolojik etkileri. *Politeknik Dergisi*, (15/4), 185-190.

Tamura, T., ve Struxness, E. G., 1963. Reactions affecting strontium removal from radioactive wastes, *Health physics* (9/7), 697-704.

Tanaçan, L. (1993). Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit Ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

Tarkan, D. (2015). Doğu Çatalhöyük Neolitik Dönem Çanak Çömleğinin Kil Kullanımı Ve Kaynakları Bakımından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.* İstanbul.

Tübitak Bor Raporu, 2003.

Türk, A. (2012). Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Atıklarından Rubidyumun Kazanılması. Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Kütahya.

Tiber, B. (2011). Perlit İçeren Fonksiyonel Bir Tekstil Ürününün Tasarımı. Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İzmir.

Topçu, İ.B., Işıkdağ, B. (2008). Effect of Expanded Perlite Aggregate on the Properties of Lightweight Concrete. *Journal of Materials Processing Technology* (204), 34-38.

Toydemir, N. (1968). Toprak Taşıyıcı Döşeme Bloklarının Rasyonalizasyonu Üzerine Bir Deneme. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

TS 3681, (1982). Genleştirilmiş perlit agregası, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 771-1+A1, 2015, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler, Ankara.

TS EN 772-1, 2012, Kâgir Birimler - Deney Yöntemleri - Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.

TS EN 772-4, 2000, Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz Ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini. Ankara.

TS EN 772-6, 2004, Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 6: Beton Kâgir Birimlerin Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini, Ankara.

TS EN 772-11, 2012, Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini. Ankara.

TSE CEN/TS 12390-9, 2017, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 9: Buz Çözücü Tuzlarla Donma-Çözünme Direnci – Ölçeklendirme. Ankara.

Türköz, M., 2007, Yüksek Plastisiteli Killerin Şişme Potansiyelinin Direkt Deneylerle Belirlenmesi ve Karşılaştırmalı Analiz. Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Eskişehir.

Ulusoy, H., 2012, Eskişehir Kırka Yöresinde Bor Madeni Çevresinde Yaşayan İlköğretim Çağındaki Çocuklarda Kan Bor Düzeyinin Ölçülmesi. Tıpta Uzmanlık Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi*. Eskişehir, 11-30.

U.S. Department of Interior, (2015). U.S. Geological survey, mineral commodity summaries 2015 report. U.S. Government Printing Office, Washington, U.S.A.

URL-1. https://www.google.com.tr/search?q=d%C3%BCnya+bor+rezervi&safe 05.08.2018 tarihinde erişilmiştir.

URL-2. https://www.google.com.tr/search?q=k%C4%B1rka+bor+i%C5%9Fletm. 10. 08.2018 tarihinde erişilmiştir.

URL-3. https://www.google.com.tr/search?q=emet+bor+i%C5%9Fletmesi&safe 10.08.2018 tarihinde erişilmiştir.

URL-4. https://www.google.com.tr/search?safe=strict& 10.08.2018 tarihinde erişilmiştir.

URL-5. http://www.etimaden.gov.tr/ 10.08.2018 tarihinde erişilmiştir.

Uslu, T. ve Arol, A. İ. (2004). Use of boron waste as an additive in red bricks, *Waste Management,* 24 (2), 217-220.

Uz, V., Işık, İ., Özdağ, H., Demirbilek, F. ve Demirbilek, M. (2006). Tuğla kiremit üretiminde vakumlu şekillendirmenin kilin plastiklik ve kurutma davranışlarına etkisinin ön araştırması, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* (12), 105-116.

Vitra, R. L. (2008). Clays. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, USA.

Williamson, A.J. (2006). Earth construction: poured earth, University of Colorado Denver, Colorado.

Worral, W. E. (1986). Clays and ceramic raw materials, *Elsevier Applied Science Publisher,* London.

Yalçın, M. (1997). Çevresel Kirlilik Şartlarının Bentonit Kilinin Şişme/Büzülme Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Eskişehir.

Yalgın, S. (1983). İnşaat Sektöründe Genleşmiş Perlit Kullanımı. Ankara: Etibank Yayınları.

Yaman, C., 1997, Bor Minerali Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliği, *VIII. Ulusal Kil Sempozyumu*, Kütahya.

Yıldız, S. (2008). Emet Bor İşletmesi Hisarcık Konsantratör Atıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

Yılmaz, S. (2005). Söğüt Bölgesi Killerinin Zenginleştirilerek Yer ve Duvar Karosu Bünyelerinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Eskişehir.

Yu, H., Ou, H., Lee, L.L. (2003). Investigation on Puzzolanic Effect of Perlite Powder in Concrete. *Cement and Concrate Research* (33/1).

Yüksel, A. N. ve Şişman, C. B. (2003). Tarımsal inşaat. *Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Genel Yayın*ı *(278), Ders Kitabı (36),* Tekirdağ.

Zal, B. (2010). Zeolit, Tras Ve Uçucu Kül İle Tuğla Üretimi Ve Standard Tuğla İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Adana.

Zhou, C.H. and Keeling, J. (2013). Fundamental and applied research on clay minerals: From climate and environment to nanotechnology, *Applied Clay Science,* (74), 3– 9.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selçuk ÇİMEN

Doğum Yeri ve Yılı : Erzincan - 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : selcuk_cimen_@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : İzmir Bergama İmam Hatip Lisesi

Lisans : Fırat Üniversitesi - Yapı Öğretmenliği

: Kırıkkale Üniversitesi - İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

İş Yeri : İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü

Bayburt İl Emniyet Müdürlüğü 2011 - (Halen)

Yayınları

Çağlar, A., Çağlar, H., Şahin, A., Çimen, S., (2018). Comparison Of The Physical Properties Of The Blended Brick Produced With Fly Ash With The Standard Blend Brick, *Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Sempozyumu*, Afyonkarahisar.

Çağlar, A., Çağlar, H., Demircan, H., Çimen, S., (2018). Effective On Energy-Saving Of Blended Brick With Boron Additive; Example Of Kastamonu Aktekke Mansion, *Current Academic Studies in Engineering Sciences, İvpe Yayınevi*, Cilt II, pp:711-718.

Çağlar, H., Çimen, S., Çağlar, A., (2018). Determination of Amount of Capilarity Water Absorption of Perlite and Boron Waste Additive Produced Brick Building Material, *Dicle Üniversitesi 1. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu*, Diyarbakır.

Çağlar, A., Çağlar, H., Çimen, S., Şahin, A., (2018). Use of Industrial Wastes in Blended Brick Production, *1. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, Ankara.

Çimen, S. (2018). İnşaat Sektöründe Geri Dönüştürülmüş Agregaların Tekrar Kullanımı. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1*(1), 44-54.