

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİL BAĞLAYICILI GENLEŞTİRİLMİŞ KİL VE
GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI HAFİF KOMPOZİT
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

GÖKÇE EGE BAŞGEDİK GÜNAY

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİL BAĞLAYICILI GENLEŞTİRİLMİŞ KİL VE
GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI HAFİF KOMPOZİT
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

GÖKÇE EGE BAŞGEDİK GÜNAY

Doç.Dr. Salih Taner YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

.....

Dr. Öğretim Üyesi. Adnan ÖNER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Nermin DEMİRKOL
Eş Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Enstitü Yönetim Kurulunun 11/09/2020 tarih
ve 2020/33 nolu toplantısında II. Tez
danışmanı olarak atanmıştır.

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İMZA

Gökçe Ege BAŞGEDİK GÜNAY

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☒ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

İMZA

Gökçe Ege BAŞGEDİK GÜNAY

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgilerini benden esirgemeyen, değerli katkılarda ve yardımlarda bulunan saygıdeğer danışman hocalarım Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM ve Doç. Dr. Nermin DEMİRKOL'a ve laboratuvar çalışmamda bana destek olan lisansüstü öğrenci arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans laboratuvar çalışmalarım için gerekli olan hammaddelerden biri olan perliti tarafıma temin eden Taşper Perlit San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne, geliştirilmiş kilin temin edildiği Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş., killerin temin edildiği Duravit Yapı Ürünleri San. ve Tic. A.Ş ile Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş firmaları ile XRD deneylerimi gerçekleştiren Kale Seramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.'ye teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, varlıklarını her daim hissettiğim sevgili babam Kemal BAŞGEDİK'e, sevgili annem Aysül BAŞGEDİK'e ve sevgili teyzem Zülale ŞANLI'ya ve sevgili eşim İnan GÜNAY'a sonsuz teşekkürler.

Haziran – 2022

Gökçe Ege BAŞGEDİK GÜNAY

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kil	4
2.1.1. Killerin Sınıflandırılması.....	5
2.2. Perlit.....	6
2.2.1. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	6
2.2.2. Perlit Rezervleri.....	7
3. LİTERATÜR TARAMASI	9
4. MATERYAL VE METOT	13
4.1. Kullanılan Malzemeler	13
4.1.1. Genleştirilmiş perlit	14
4.1.2. Genleştirilmiş Kil	15
4.1.3. Duravit Makarna Kil (DMK).....	16
4.1.4. Makarna Kil (MK).....	17
4.1.5. Ukrayna Topak Kili (UTK).....	17
4.2. Deney Numunelerinin Üretimi	18
4.3. Taguchi Metodu.....	21
4.4. Agrega Garnülometrileri.....	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
5.1. Özgöl Ağırlık	24
5.2. Tane Boyutu Analizi.....	26
5.3. Basınç Deneyi.....	26
5.4. Ağırlık Kaybı.....	30
5.5. Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme.....	32
5.6. Isıl İletkenlik Deneyi	36
5.7. Kılcal Su Emme.....	39
5.8. Pişme Küçülmesi Deneyi.....	43
5.9. Ultrasonik Test.....	45
5.10. XRD Analizi.....	49
5.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülemesi.....	58
5.12. Taguchi Metoduna Göre Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	77
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	83
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Silika tetragon ve alüminyum Oktedral'in gösterimi	5
Şekil 2.2.	Silis tetrahedralin yapısı a) tek oktahedral birim b) oktahedrallerin tabaka yapısı c) tek silis tetrahedral d) tetrahedrallerin tabaka yapısı	5
Şekil 2.3.	Genleştirilmiş kil agregasının görünümü.....	8
Şekil 4.1.	Killeri öğüten değirmen	13
Şekil 4.2.	Öğütülmüş bağlayıcı olarak kullanılacak kil kipleri.....	13
Şekil 4.3.	Öğütme yapıldıktan sonra killeri elemek için kullanılan 355 mikron boyutundaki elek	14
Şekil 4.4.	Deneyde kullanılan genleştirilmiş perlitin gösterimi.....	15
Şekil 4.5.	2-4 mm arası boyutlardaki genleştirilmiş kil	16
Şekil 4.6.	Hazırlanan numunelerin kalıplanmadan önceki hali	20
Şekil 4.7.	Kalıba yerleştirilme aşamasındaki numuneler	20
Şekil 4.8.	Etüvden çıkan (a) ve fırından çıkan (b) numuneler	20
Şekil 4.9.	Pişirilmek üzere fırına konulan (a) ve pişirildikten sonra fırında olan (b) numuneler.....	21
Şekil 4.10.	Genleştirilmiş kil (GK) ve genleştirilmiş perlit (GP)'in granülometri eğrileri	23
Şekil 5.1.	Vakum ile havası alınan piknometre içindeki su ve numune örneği	24
Şekil 5.2.	Numunelerin basınç dayanımlarının kıyaslanması	27
Şekil 5.3.	Basınç deneyi cihazı ve dayanımı ölçülmek üzere cihaza yerleştirilen numune	28
Şekil 5.4.	Basınç deney sonuçlarının performans istatistik değerleri	29
Şekil 5.5.	Kalıp, etüv ve fırından çıkan numunelerin ağırlıklarının gösterimi	30
Şekil 5.6.	Ağırlık kaybı deneyinin performans istatistik değerleri	31
Şekil 5.7.	Numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri.....	33
Şekil 5.8.	Fırından çıkan, kürden çıkan ve etüvden çıkan numunelerin ağırlıklarının gösterilmesi	34
Şekil 5.9.	Su emme deneyi yapılan numuneler	34
Şekil 5.10.	Kuru birim ağırlık deneyinin performans istatistik değerleri	35
Şekil 5.11.	Su emme deneyinin performans istatistik değerleri	35
Şekil 5.12.	Kalıptan çıkarken çatlayan numune.....	37
Şekil 5.13.	Köpük levha içine yerleştirilen numunelere ısı iletkenlik deneyi uygulanması	37
Şekil 5.14.	Isı iletkenlik deneyi performans istatistik değerleri	38
Şekil 5.15.	Numunelerin dakikaya göre kılcallıklarının kıyaslanması	41
Şekil 5.16.	Kılcallık deneyi için ızgara üzerine yerleştirilmiş numuneler	41
Şekil 5.17.	Numunelerin kılcallık katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması	42
Şekil 5.18.	Kılcal su emme deneyi performans istatistik değerleri.....	43
Şekil 5.19.	Numunelerin boy değişimi	44
Şekil 5.20.	Pişme küçülmesi deneyi performans istatistik grafiği	45
Şekil 5.21.	Ultrasonik test sonuçlarının kıyaslanması	47
Şekil 5.22.	Deneyde kullanılan ultrasonik test cihazı	47

Şekil 5.23.	Ultrasonik test sonuçlarının performans istatistiksel değerleri.....	48
Şekil 5.24.	1 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	49
Şekil 5.25.	2 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	50
Şekil 5.26.	3 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	51
Şekil 5.27.	4 Numaralı numunenin XRD analizi	52
Şekil 5.28.	5 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	53
Şekil 5.29.	6 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	54
Şekil 5.30.	7 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	55
Şekil 5.31.	8 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	56
Şekil 5.32.	9 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği	57
Şekil 5.33.	Tüm numunelerin XRD analizi kıyaslanması bir grafikte gösterimi	58
Şekil 5.34.	Deney 1'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	59
Şekil 5.35.	Deney 1'e ait numunelerin EDS Analizi	60
Şekil 5.36.	Deney 2'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	61
Şekil 5.37.	Deney 2'ye ait numunelerin EDS Analizi	62
Şekil 5.38.	Deney 3'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	63
Şekil 5.39.	Deney 3'e ait numunelerin EDS Analizi	64
Şekil 5.40.	Deney 4'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	65
Şekil 5.41.	Deney 4'e ait numunelerin EDS Analizi	66
Şekil 5.42.	Deney 5'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	67
Şekil 5.43.	Deney 5'e ait numunelerin EDS Analizi	68
Şekil 5.44.	Deney 6'ya ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	69
Şekil 5.45.	Deney 6'ya ait numunelerin EDS Analizi	70
Şekil 5.46.	Deney 7'ye ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	71
Şekil 5.47.	Deney 7'ye ait numunelerin EDS Analizi	72
Şekil 5.48.	Deney 8'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	73
Şekil 5.49.	Deney 8'e ait numunelerin EDS Analizi	74
Şekil 5.50.	Deney 9'a ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme	75
Şekil 5.51.	Deney 9'a ait numunelerin EDS Analizi	76

Şekil 5.52. Optimum numune için performans istatistik değerleri	78
---	----



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Killerin sınıflandırılması.....	6
Tablo 2.2. Perlitin fiziksel özellikleri.....	6
Tablo 4.1. Genleştirilmiş perlitin XRF analizi.....	14
Tablo 4.2. Genleştirilmiş kilin XRF analizi.....	15
Tablo 4.3. Duravit makarna kilin XRF analizi.....	17
Tablo 4.4. Makarna kilin XRF kimyasal analizi.....	17
Tablo 4.5. Ukrayna toprak kilin XRF analizi.....	18
Tablo 4.6. Taguchi metodu şeması	21
Tablo 4.7. Taguchi metodu L9 deney planı	22
Tablo 4.8. L9'a göre parametrelerin yerleştirilmesi	22
Tablo 4.9. Taguchi metoduna göre karışım dizaynları	22
Tablo 5.1. Duravit makarna kile ait özgül ağırlık deneyi sonucu	25
Tablo 5.2. Makarna kile ait özgül ağırlık deneyi sonucu.....	25
Tablo 5.3. Ukrayna toprak kiline ait özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	25
Tablo 5.4. Genleştirilmiş perlite ait özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	25
Tablo 5.5. Genleştirilmiş kilin özgül ağırlık deneyi sonuçları.....	25
Tablo 5.6. Deneyde kullanılacak malzemelerin tane boyutu analizi	26
Tablo 5.7. Numunelerin basınç deney sonuçları.....	27
Tablo 5.8. Basınç deney sonuçlarının ANOVA Analizi.....	29
Tablo 5.9. Kalıptan çıkan, etüvden çıkan ve fırından çıkan numunelerin ağırlık kıyaslaması	30
Tablo 5.10. Ağırlık kaybı deneyinin Anova analizi.....	31
Tablo 5.11. Fırından çıkan, kürden çıkan ve etüvden çıkan numunelerin ağırlıkları.....	33
Tablo 5.12. Numunelerin ağırlık ortalamaları ile kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri	33
Tablo 5.13. Kuru birim ağırlık deneyi ANOVA Analizi.....	35
Tablo 5.14. Su emme deneyi ANOVA Analizi	36
Tablo 5.15. Isıl iletkenlik deney sonuçları (W/m.K).....	38
Tablo 5.16. Isıl iletkenlik deneyi sonuçlarının ANOVA Analizi	38
Tablo 5.17. Boyalı numunelerin ağırlık değerleri	39
Tablo 5.18. Numunelerin 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçümleri	40
Tablo 5.19. 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçüm değerlerinin ortalaması.....	40
Tablo 5.20. Numunelerin kılcallık katsayılarının gösterimi (g/cm ² .dk0.5s.).....	41
Tablo 5.21. Kılcal su emme deneyinin ANOVA Analizi.....	43
Tablo 5.22. Pişirme küçülmesi sonrası boy çekilmesi.....	44
Tablo 5.23. Pişme küçülmesi deneyi Anova analizi.....	45
Tablo 5.24. Etüvden çıkan ve fırından çıkan numunelere yapılan ultrasonik test deney sonuçları	46
Tablo 5.25. Fırın sonrası, etüv sonrasına kıyasla ultrasonik test dalga hızının artış yüzdesi	46
Tablo 5.26. Ultrasonik test sonuçlarının Anova analizi	48
Tablo 5.27. 1 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	50
Tablo 5.28. 2 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	50

Tablo 5.29. 3 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	51
Tablo 5.30. 4 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	52
Tablo 5.31. 5 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	53
Tablo 5.32. 6 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	54
Tablo 5.33. 7 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	55
Tablo 5.34. 8 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	56
Tablo 5.35. 9 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği.....	57
Tablo 5.36. Deney 1'e ait numunelerin EDS Analizi.....	61
Tablo 5.37. Deney 2'ye ait numunelerin EDS Analizi.....	62
Tablo 5.38. Deney 3'e ait numunelerin EDS Analizi.....	64
Tablo 5.39. Deney 4'e ait numunelerin EDS Analizi.....	66
Tablo 5.40. Deney 5'e ait numunelerin EDS Analizi.....	68
Tablo 5.41. Deney 6'ya ait numunelerin EDS Analizi.....	70
Tablo 5.42. Deney 7'ye ait numunelerin EDS Analizi.....	72
Tablo 5.43. Deney 8'e ait numunelerin EDS Analizi.....	74
Tablo 5.44. Deney 9'a ait numunelerin EDS Analizi.....	76
Tablo 5.45. Optimum numunenin S/G değerleri	77
Tablo 5.46. Taguchi optimum numune deney sonuçları	78
Tablo 5.47. Optimum numunenin Anova analizi	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Δ	: Kuru birim ağırlık (gr/cm^3)
W_k	: Kuru ağırlık (gr)
V	: Numune hacmi (cm^3)
S_a	: Ağırlıkça yüzde su emme (%)
W_d	: Doygun kuru yüzey ağırlık (gr)
Q	: Uygulanan güç (W)
D	: Numune kalınlığı (m)
A	: Yüzey alanı (m^2)
P	: Kırılma anındaki yük (N)
A	: Basınç uygulanan yüzey alanı (mm^2)
λ	: Isıl iletkenlik katsayısını (W/m.K)

Kısaltmalar

ASTM : American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)

KİL BAĞLAYICILI GENLEŞTİRİLMİŞ KİL VE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI HAFİF KOMPOZİT ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Dünyadaki enerji kullanım artışı ve inşaat sektörünün bu artıştaki payının yüksek olmasından dolayı, çevre dostu ürünler geliştirmek ve kullanmak bir gereklilik haline gelmiştir. Yeni kompozit malzemelerin geliştirilmesinde kil ve perlit gibi doğal ürünlerin kullanılması çevresel dönüşümü desteklemekte ve atıkların çevresel zararını da azaltmaktadır. Ülkemizde çok fazla kaynağı bulunan bu ürünlerin daha fazla kullanılması da önemlidir.

Bu çalışmada bağlayıcı olarak farklı kil tipleri kullanılıp, agrega olarak ise hafif agregalardan genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş kil kullanılarak çevre dostu, ısıl iletkenlik katsayısı düşük ve yalıtım sağlayan bir ürün elde etmek hedeflendi. Çalışmada Taguchi metodu kullanılarak oluşturulan numune tiplerinde, farklı kil tipleri ve farklı hacimlerde agrega ve su oranlarıyla hazırlanan numunelerin farklı sıcaklarda pişirilip dayanım kazanması sağlandı. 900°C, 1000°C ve 1100°C’de pişirilen numunelere çeşitli deneyler uygulanarak en iyi karışım ısıl iletkenlik değerini veren ve duvar malzemesi için uygun dayanıma sahip numune tespit edildi.

Çalışmanın sonucunda bağlayıcı olarak kullanılan farklı kil tiplerinin, dayanımının da farklı olduğu, hafif agregalardan genleştirilmiş perlitin numune içindeki kullanım oranı arttığında, ısıl iletkenlik katsayısının düştüğü bununla birlikte su emme kapasitesinin arttığı, genleştirilmiş kilin numune içindeki kullanım oranı arttığında ise ısıl iletkenlik katsayısının basınç dayanımı artışına paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Yapılan Taguchi Metodu ile olası en ideal numune belirlenmiş ve doğrulama testleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş Kil, Genleştirilmiş Perlit, Kil Bağlayıcı Kompozit, Taguchi Metodu.

RESEARCH OF THE PRODUCTION OF LIGHT WEIGHT COMPOSITE WITH CLAY BINDER INCLUDING EXPANDED CLAY AND EXPANDED PERLITE AGGREGATE

ABSTRACT

Due to the increase in energy use in the world and the high share of the construction sector in this increase, it has become a necessity to develop and use environmentally friendly products. The use of natural products such as clay and perlite in the development of new composite materials supports environmental transformation and reduces the environmental damage of waste. It is also important that these products, which have a lot of resources in our country, are used more.

In this study, it was aimed to obtain an environmentally friendly, low thermal conductivity and insulating product by using different clay types as binders and using expanded perlite and expanded clay from lightweight aggregates as aggregates. In the sample types created using the Taguchi method, the samples prepared with different clay types and different volumes of aggregate and water ratios were fired at different temperatures to gain strength. By applying various tests to the samples fired at 900°C, 1000°C and 1100°C, the sample with the best thermal conductivity value and suitable strength for the wall material was determined.

As a result of the study, the strength of different types of clay used as binder is also different, when the usage rate of expanded perlite from lightweight aggregates in the sample increases, the thermal conductivity coefficient decreases, the water absorption capacity increases, and when the usage rate of expanded clay in the sample increases, the thermal conductivity coefficient increases in parallel with the increase in compressive strength. The most ideal sample was determined via the Taguchi Method and validation tests were carried out.

Keywords: Expanded Clay, Expanded Perlite, Clay Binder Composite, Taguchi Method.

1. GİRİŞ

Dünya enerji konseyinin yaptığı araştırmaya göre dünyada birinci enerji talebinin yaklaşık yüzde 40'ını inşaat sektörü oluşturmaktadır. Bu nedenle binaların ısı yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi çevresel açıdan önemlidir. Binalarda ısı yalıtımı bu enerji talebini karşılamak için doğrudan önem arz eden çözüm yöntemlerinden biridir (Al Homoud ve diğ., 2005). Isı yalıtımına etki eden ana faktörler, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısıl özelliğidir. Bu etmenlerden dolayı, yalıtkan kompozit üretiminde hafif ve gözenekli yapıdaki malzemelerin ısı yalıtımını arttırmak için kullanımı giderek artmaktadır (Short ve diğ., 1978). Isıl iletkenlik katsayısının azalmasını sağlayıp yalıtıma katkı sağlayacak bir malzeme elde etmek istemenin yanında uygulanabilirlik açısından dayanımı yüksek bir malzeme elde etme ihtiyacı da doğmaktadır (Serina ve diğ., 2016).

Hafif agregalar söz konusu olduğunda mekanik özellikten çok malzemenin yalıtımsal özelliği ve hafifliği göz önüne alınmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2018). Bu durumlarda çoğu zaman ısıl iletkenlik katsayısının düşük olması malzeme dayanımından daha önemli bir faktördür (Topçu ve diğ., 2007). Bu nedenle yapı malzemelerinde hafif agrega kullanmak yalıtımı geliştirmek açısından önem taşımaktadır (Demirboğa ve diğ., 2003).

Bu çalışma kapsamında ekolojik bir malzeme olup, yüzyıllardır kullanılan sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan kil türevleri kullanılarak bir yalıtım malzemesi geliştirilmesi hedeflendi. Hafif agregalardan olan genişletilmiş kil agrega olarak, makarna kil ise bağlayıcı olarak kullanılıp farklı oranlar denenerek en iyi dayanımı veren kompozitin tespit edilmesi amaçlandı. Kil bağlayıcılı yalıtkan bir kompozit üretmek için numune dökümleri yapıldı ve çalışmanın başında hammadde karakterizasyonu gerçekleştirerek devam edildi. Karakterizasyon deneylerinden sonra hangi hammaddelerin yalıtkan bir yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir olduğu belirlenerek laboratuvar çalışmalarına başlandı. Edilen sonuçlara göre çalışmaya duravit fabrikasından elde edilen makarna kil (DMK), makarna kil (MK) ve Ukrayna topak kili (UTK) öğütülerek başlanıp, farklı oranlarda genişletilmiş kil, genişletilmiş perlit ve su ile karıştırılarak en iyi mekanik özellik veren kompozitin tespit edilmesi amaçlandı. Bu aşamada malzemelerin özgül ağırlıkları tespit edilerek karışımlar buna göre hazırlandı. Farklı sıcaklık değerlerinde pişirilip dayanım kazanan numunelere sonrasında ağırlık kaybı, kuru birim ağırlık ve su emme, basınç dayanımı, kılcal su emme, büzülme, ultrasonik test deneyleri yapıldı ve

SEM mikroskopik görüntülemeleri uygulanıp, XRD analizi ile malzemesinin içyapısı incelendi. Yukarıda da belirtildiği gibi bu tez çalışmasında kil bağlayıcılı kompozit yalıtım malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri ilgili araştırma bulgularına ve deneysel çalışmalara yer verilecek olup, kullandığımız malzemelerle hem yalıtkan, hem de çevre dostu bir ürün elde etmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

Geleneksel yöntemlerle hazırlanan, genel olarak yapı üretiminde kullanılan betonun yoğunluğu 2400 kg/m^3 civarındır. Bu yoğunluk değerinin 2000 kg/m^3 'ün altında olduğu betonlar ise hafif beton olarak isimlendirilmektedir. Hafif agregalı betonlar ise malzeme ve üretim tekniğine göre olan hafif betonlar sınıfında yer alır. Doğal taşların ısıtılma işleminden geçmesi sonucunda genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit gibi hafif agregalar ortaya çıkar (Kabay, 2009).

Üretim tekniği ve kullanılan malzeme türüne göre, gaz beton ve hafif agregalı beton olarak sınıflandırılan hafif agregalı betonlar, işlevlerine göre ise yalıtım hafif betonları ve taşıyıcı yalıtım hafif ve betonları olarak ikiye ayrılır (Kabay, 2009). Yoğunluk değeri 1120 ile 1920 kg/m^3 arasında olan ve 28 günlük basınç dayanım değeri 17 MPa 'dan fazla olan betonlar taşıyıcı hafif beton olarak adlandırılmış, bu değerleri sağlamayanlara yalıtım betonları denilmiştir (Lamond ve Pielert, 2006).

Hafif beton kullanılması ağırlık azalmasında önemli bir pay oynar. Bu sayede ısı iletkenlik katsayısı normal betona kıyasla oldukça düşer ve malzeme yalıtısal özellikler kazanır, ses geçirimi, ısı ve yangına karşı dayanıklılık kazanır (Postacıoğlu, 1987). Hafif betonlarda normal beton benzeri özellikler elde etmek için bağlayıcı olarak çimento kullanmak gereklidir (Taşdemir, 1982).

Birim ağırlığı düşük olup hafif agrega olarak kullanılabilen agregalar doğal hafif agregalar ve yapay hafif agregalar olarak iki kategoride incelenir. Doğal hafif agregalar volkanik taşlardan oluşan gözenekli yapıdaki ponza taşı, sünger taşı, lav cürufu, tüf gibi taşlar ile tortul taşların kırılmasıyla elde edilen diatomit gibi taşlardır. Yapay hafif agregalar ise; vermikülit, kil, perlit, kuvars gibi doğal taşlara ısıtılma işlemi uygulanmasıyla elde edilen ve endüstri atıkları sonucunda oluşan uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi endüstriye atıklardan oluşan hafif agregalardır (Haque ve diğ., 2004; Babu ve diğ., 2003; Bouguerra ve diğ., 1998; Alduaij ve diğ., 1999; Miled ve diğ., 2004; Taşdemir, 1982; Postacıoğlu, 1987).

Bu çalışma kapsamında, yüzyıllardır kullanılan sürdürülebilir ve ekolojik bir yapı malzemesi olan kil türevleri kullanılarak bir yalıtım malzemesi geliştirilmesi

hedeflenmiştir (El Azhary ve diğ., 2017). Alüminasilikatlar ailesinde yer alan killeri karmaşık bir kimyasal yapıya sahip, eski çağlardan beri inşaat, seramik, temizlik gibi geniş alanda kullanılan malzemelerdir (Koroğlu, 2007).

Kil doğadan elde edildiğinden inşaat sektöründe çokça kullanılmaktadır. Ülkemizde de doğal kil rezervleri bulunması da kilin çeşitli alanlarda kullanımına olanak sağlamaktadır (İpekoğlu, 1997). Genleştirilmiş kil ise killerin döner fırınlarda yaklaşık 1200 °C’de elde edilmektedir. Bu işlem esnasında içerisinde açığa çıkan gazlar sayesinde kil genişmekte ve boyutunun 5 ila 6 katına çıkmaktadır (Gündüz ve diğ., 2020). Endüstriyel olarak üretilen hafif agregalar içerisinde en iyi basınç mukavemetine sahip malzemelerden birisi genleştirilmiş kildir (Gündüz ve diğ., 2006). Hafif agregalardan olan genleştirilmiş kil ve genleştirilmiş perlit agrega olarak, makarna kil ise bağlayıcı olarak kullanılıp farklı oranlar denenerek en iyi dayanımı veren kompozitin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Hafif agrega kullanımı eski çağlardan beri süre gelmekte olup, ponza taşı gibi volkanik esaslı malzemelerin kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Romalı günümüzden 2000 yıl öncesinde ponza taşı ile günümüze kadar ulaşabilen yapılar inşa etmişlerdir. Pantheon hafif beton kubbesiyle bu yapılara örnek niteliği taşımaktadır (Bremner ve Holm, 1995).

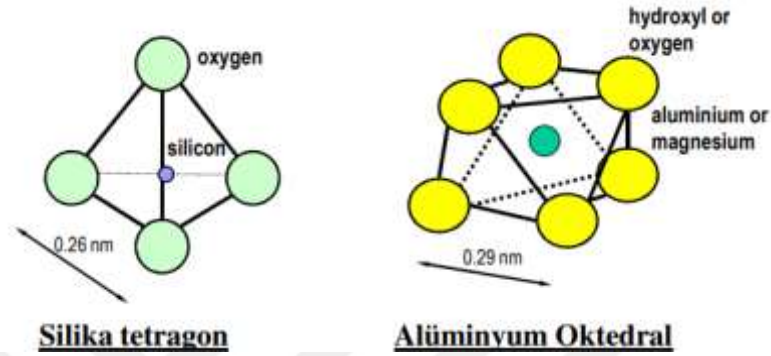
Yalıtım amaçlı kullanılan hafif betonlarda yüksek ısı iletkenlik ve düşük ağırlık hedeflenmektedir. Malzeme düşük yoğunluktadır, yoğunluk değeri 800 kg/m³ altına düşürülebilir ve hafif agregalı karışımların boşluk oranları normal betondan daha fazla olduğu için %5 ila %25 arasında daha fazla su emer (Lamond ve Pielert, 2006). Isıl iletkenlik katsayısı normal betona göre daha düşük olan hafif betonlar, kolay şekillendirilebilen malzemelerdir. Isıl iletkenlik katsayısı kullanılan agrega tipine, nem içeriğine ve yoğunluğuna bağlıdır (Clarke,1993).

2.1. Kil

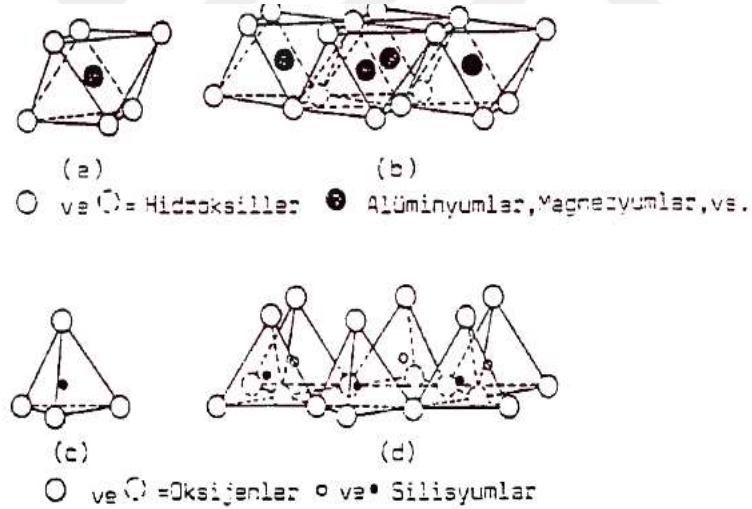
Komplike bir yapı ve çeşitli mineral içeriğine sahip olan killeri günümüzde pek çok alanda kullanılan bir malzemedir. İnşaat, seramik, ilaç, kağıt, plastik, petrol, gıda gibi pek çok alanda karşımıza çıkan killeri günümüz teknolojisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Isı etkisine dayanıklı olmaları, kolay şekil almaları, suya karşı geçirimli tabaka oluşturmaları gibi özelliklerden dolayı tercih edilen bir malzemedir (Sümer, 2002).

1800'lü yıllardan beri kullanılmakta olan kil saf olmayan, alümina ve silis içeriği yüksek, toprağımsı ve su katıldığında plastikliğı artan bir malzemedir(Malayoğlu ve diğ, 1995).

Tane boyutu 0.002 mm olan alüminyum silikatlardan oluşmaktadır. Kil mineralleri siliat ve alüminat olarak temel olarak 2 farklı mineralden oluşur, bu minerallerin yapısı Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Şekil 2.2.'de ise kil mineralinin silika yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Silika tetragon ve alüminyum Oktedral'in gösterimi (URL-2).



Şekil 2.2. Silis tetrahedralin yapısı a) tek oktahedral birim b) oktahedraillerin tabaka yapısı c) tek silis tetrahedral d) tetrahedraillerin tabaka yapısı (Sümer, 2002)

2.1.1. Killerin Sınıflandırılması

Killer mineral özelliklerine göre, yapılarına göre, fiziksel özelliklerine göre, kimyasal içeriklerine göre, kullanım alanına göre ve çıkarıldıkları yere göre sınıflandırılmaktadır. Killerin sınıflandırılmasına ait bilgiler Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Killerin sınıflandırılması

Minerolojik	Kaolin	Smektit	Mika	Klorit	İllit	Attapulgit
Yapıları	Amorf	Kristal				
Kimyasal	Yüksek	Boksitli	Silikatlı	Demirli	Kalsitli	Karbonatlı
Fiziksel	Plastiklik	Tane	Refrakter	Renk		
Çıkarıldıkları	Yatağına Göre					
Kullanım	Seramik, İnşaat, Petrol, İlaç, Sondaj, Kağıt vb. Alanlar					

2.2. Perlit

Perlit, alüminyum silikat ile tuzlu suyun bir karışımı olan, volkanik olan lavın aniden soğuması sonucu şekil alan volkanik bir camdır (Baba, 2018). Perlitin kelime anlamı inci anlamına gelen ‘perle’ kelimesinden gelmektedir. Günümüzde inşaat, tarım, sanayi, ilaç gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Birden ısıtılması sonucun içerisindeki su açığa çıkmakta ve genişletilmiş perlit oluşmaktadır. Ülkemizde Dünya üzerindeki perlit rezervlerinin %70’i bulunmakta olup, ülkemiz için bir avantaj sağlamaktadır (Gül, 2016). Perlit ilk olarak 1940 yılında yapı sıvası elde etmek için genişletildi.

2.2.1. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Perlit %12 ila %18 oranında alüminyum oksit içermekte olup bunun yanında bünyesinde potasyum, sodyum, demir, magnezyum, kalsiyum ve titanyum da bulundurmaktadır (Ciullo, 1996). Perliti diğer volkanik camlardan ayıran özelliği 760 ila 980°C’de ısıtıldığında hacimin 4 ila 20 kat artmasıdır (Maxim ve diğ., 2014). Perlit ısıtıldığında su kademeli olarak olarak serbest bırakılıp genişleme meydana gelir, bunun sonucunda ise düşük yoğunluklu, gözenekli yapıda, griden beyaza dönüşmüş genişletilmiş perlit elde edilmiş olur (Garib ve diğ., 2013). Tablo 2.1.’de perlitin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Perlitin fiziksel özellikleri (Perlit Enstitüsü, 2011)

Renk	Gri, Beyaz(Genleşmiş), Siyah
Yumuşama Noktası	871-1093 °C
Ergime Noktası	1260-1343°C
pH	6.5-8.0
Özgül Ağırlık	2200-2400 Kg/m ³
Refraktif İndeks	1.5
Serbest Nem	0.5 (Maksimum)

2.2.2. Perlit Rezervleri

Dünya'daki perlit rezervlerinin önemli bir kısmı Türkiye'de yer almakta ve bu durum ülkemizin ekonomisine katkı sağlamaktadır. Dünya çapındaki perlit üretiminin %41'i Türkiye'de olup, %26'sı Yunanistan'da bulunmakta ve onu %21 ile Amerika Birleşik Devletleri izlemektedir (Gül, 2016). Türkiye'de Ege Bölgesi'ndeki perlit lav akıntıları sonucunda meydana gelmiş olup, Menderes ile Karaburun bölgeleri arasında yer almaktadır. Ege Bölgesi'nde İzmir'de Cumaovası, Foça, Bergama, Dikili civarı ile Manisa'da Sarıkamış ile Zeytindağ'da bulunmaktadır. Bunun yanı sıra rezervlerin önemli bir bölümü Nevşehir Acıgöl civarında bulunmaktadır. Ankara, Kars, Van, Erzurum, Çanakkale, Eskişehir, Balıkesir de perlit rezervlerinin bulunduğu illerimizdendir (URL-1).

2.3. Genleştirilmiş Kil

Genleştirilmiş kil hafif agregalar sınıfında yer alan, günümüzde artan enerji gereksinimi sebebiyle çevre dostu ve hafif ürünler elde edilmesinde kullanılan bir yapı malzemesidir, basınç dayanımı en yüksek olan hafif agregalardan biri olduğundan yapı malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Mineralojik yapısı silikatlardan oluşan genleştirilmiş kil, topraktan çıkarılan kilin yaklaşık 1200 °C'deki döner fırınlarda ısıtılmasıyla elde edilmektedir. Isıl işlem gören kil, kendi hacminin 5 ila 6 katına kadar çıkabilmekte ve genleştirilmiş kili oluşturmaktadır (Gündüz, 2020). Isıl işlem sonucunda aniden yüksek sıcaklıklara maruz kalan kilin yapısında bulunan kimyasal gazlar ortaya çıkmakta ve içi gaz ile dolu olan gözenekli bir yapı oluşmaktadır (Devecioğlu, 2012).

Genleştirilmiş kil hafif agrega olarak ısı ve ses yalıtımına katkı sağladığından pek çok sektörde kullanılmakta olup, en yaygın kullanımı hafif beton üretimidir. İnşaat sektöründe yol yapımında, istinat duvarı ve fosseptik drenajında, köprü dolgularında, yalıtım özellikli duvar panellerinde kullanılmaktadır (Can, 2020).

Düşük ısı iletkenlik katsayısı ile yüksek ısı yalıtımı sağlaması, çimento vb. bağlayıcılarla bağ kurabilme yeteneği ve yüksek agrega mukavemeti ile oldukça tercih edilen bir yapı malzemesidir. 1928 yılından itibaren endüstriyel üretimine başlanan genleştirilmiş kil , pişirmeden önce sulu veya kuru yöntemle hazırlanabilmektedir (Gündüz, 2006).

Dünyada pek çok genleştirilmiş kile dönüşme potansiyeli olan kil rezervi bulunmasının yanında ülkemizde de genleştirilmiş kile dönüşebilecek kil rezervleri bulunmaktadır. Bu rezervlerin en önemlilerinden biri Ankara Kalecik Bölgesi'nde bulunmakta, bunun yanında Kastamonu, Zonguldak, İstanbul, Bolu, Bartın bölgelerinde de bulunmaktadır. (Gündüz, 2020). Şekil 2.3. 'de genleştirilmiş kil agregasının görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.3. Genleştirilmiş kil agregasının görünümü (Gündüz ve diğ.,2020).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Numunelerin dökümünü yaptıktan sonra ne kadar süre kalıpta duracağı, kaç derecelik etüvde bekleyeceği ve bekleme süresi, pişme sıcaklığının kaç derece olacağı ve o sıcaklığa kaç saatte çıkacağının belirlenmesi aşamasında yapılan çalışmalar incelenip, literatür taraması yaptıktan sonra kendi denemelerimize geçildi. Çalışmada geliştirilmiş perlit, geliştirilmiş kil agrega olarak, kil tipleri ise bağlayıcı olarak kullanılıp, bunlarla alakalı literatür taraması yapıldı.

Genleştirilmiş kilin teknik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada Ankara Kalecik Bölgesi'nden çıkarılıp, ısıtıl işlem uygulanarak geliştirilmiş kil elde edilmiştir. Farklı boyutlardaki kile ısıtıl işlem uygulanması sonucu genişleme sıcaklığı ile genişleme oranı arasındaki ilişki incelenmiş, 125 µm ile üzerindeki kil boyutunda, 10 mm çapındaki kil peletlerinin en fazla genişmesi sonrasında elde edilen minimum yoğunluklu agregaların, harç ve yalıtımlı hafif beton üretilmesinde agrega olarak kullanılabilecek olduğu tespit edilmiştir (Gündüz ve diğ., 2020).

Genleştirilmiş kil kullanarak hafif beton üretilmesi üzerine çalışılan bir çalışmada, geliştirilmiş kilin beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen numunenin 41,27 MPa basınç dayanımı ile 1,7 kg/m³ gibi düşük yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre taşıyıcı hafif beton elde etmek için yeterli bir basınç dayanımı elde edilmiştir. Üretimde 350kg/m³, 400 kg/m³ ve 450 kg/m³ çimento dozajları kullanılmış olup, 450 kg/m³ çimento dozlu betonların basınç ve yarmada çekme dayanımı testlerinde en iyi sonucu verdiği görülmüştür (Subaşı, 2009).

Ham perlit agregalı betonun içerisinde geliştirilmiş perlit agregasının etkisinin incelendiği bir çalışmada, perlit agregalı beton karışımlarında geliştirilmiş perlit agregasının uygun seçiminin, betonun basınç dayanımı, su emme ve birim hacim ağırlık gibi özelliklerini pozitif yönde etkilediğini görülmüştür (Gökçe ve diğ., 2010).

Yapısal hafif beton üretimi için geliştirilmiş kil agregasının kullanıldığı derleme bir makalede, betonların dayanıklılık özelliklerinin yapısal uygulamalar için tatmin edici

sonuçlar verdiği, 23 ila 60 MPa arasında basınç dayanımı elde etmenin mümkün olduğu tespit edilmiştir (Vijayalakshmi ve Ramanagopal, 2018).

Hafif agregalardan olan genleştirilmiş kil agregasının yapı malzemesi olarak kullanılmasının incelendiği çalışmada, normal betona kıyasla mukavemetin, donma/çözünme direncinin azaldığı, işlenebilirliğin, yangın direnci ve ısı yalıtım özelliğinin ise arttığı belirlenmiştir (Rashad, 2018).

Hafif yapı malzemesi üretiminde genleştirilmiş perlit agregası kullanılmasının etkilerinin araştırıldığı çalışmada, betonda kullanılan genleştirilmiş perlit agregası 20 ile 30 MPa arasında basınç dayanımı elde edilmiş olup, mekanik özelliklerdeki kayıplara rağmen kullanılabilir hafif yapı malzemesi olduğunu göstermiştir (Topçu ve Işıkdağ, 2008).

Genleştirilmiş perlit agregası, silis dumanı ve uçucu külün hafif betonun ısı iletkenliği üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, pomza ve imento içeren numunelerde 0,3178 W/mK ısı iletkenlik tespit edilmiştir. Pomza yerine genişletilmiş perlit agregası ve uçucu kül ile bir karışım hazırlanmış ve yapılan deneyler sonucunda, uçucu külün ısı iletkenlik üzerinde azaltıcı etki gösterdiği fakat genleştirilmiş perlit agregasının pomza yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir (Demirboğa ve Gl, 2003).

Kil bazlı yapı malzemelerinin geleceğinin incelendiği bu derleme makalede, farklı ve doğru üretim teknikleri ile özellikle ısı kullanılarak kilin yapı malzemesi olarak kullanılabileceği ayrıca kilin çevresel ve ekonomik açıdan sağlayacağı faydalar hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiği görüşüne varılmıştır (Shubbar ve diğ., 2019).

Sürdürülebilir olarak atıklar eklenerek üretilmiş pişmiş kil tuğla yapı iles ilgili olan bu derleme makalede, katkı maddeleri eklenerek üretilen tuğlaların çeşitli özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde tuğlaların 700°C ila 1100°C arasındaki sıcaklıklardaki fırınlarda pişirildiği ve pişirme işlemi öncesinde yaklaşık 2 saatten 48 saate kadar etüvde tutulduğu belirlenmiştir. Bu alışma sonucunda elde edilen tuğlalara atık eklenmesinin evre dostu olabileceği hatta bazı durumlarda tuğlanın özelliklerini iyileştirebileceği belirtilmiştir (Velasco ve diğ., 2014).

Modern konutlarda hafif kil ve saman balyası kullanımının dayanım ve ısı iletkenlik katsayıları üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda elde edilen ürünün,

çevre dostu, ısı iletkenlik katsayısı düşük ve üretilmeye elverişli dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalarda elde edilen iyi termal sonuçlara göre, bu malzemelerin bina montajı için çevre dostu alternatif olabileceği yönündedir (Drozd ve diğ., 2019).

Hafif kil ve geleneksel teknoloji ile inşa edilmiş binanın seçilmiş bir örneğe göre karşılaştırılmasının incelendiği çalışmada, hafif kil ile inşa edilen yapının dayanımının tuğla ile yapılarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen alternatif teknoloji ile inşa edilmiş bir evin enerji verimliliği açısından olumlu sonuçlar verdiği ve maliyeti önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Bu da hafif kil ile bina üretiminin gerçekleştirilebilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir (Pawluk ve diğ., 2018).

Ham perlit siyah, gri, kahverengi, açık yeşil renklerinde, birim ağırlığı 950 kg/m³ ile 2700 kg/m³ arasında değişen, erime noktası 1315°C ile 1370°C olan bir malzemedir. Genleştirilmiş perlit ise beyaz renkte, birim ağırlığı 30 kg/m³ ile 400 kg/m³ arasında değişmekte olan bir malzemedir (Gül, 2016).

Hafif beton kullanımıyla, betonun ağırlığı azaltılabilmek mümkün olduğundan, bu sayede taşıyıcı kesit elemanları azaltılabılırken inşaatta ekonomiklik sağlanmaktadır (Chai ve Zhang, 2002; Düzgün ve diğ., 2005; Chen ve Liu, 2005; Alduaij ve diğ., 1999; Bremner ve diğ., 1994). Yalıtım hafif betonlarının basınç dayanımı 0,69 ila 3,40 MPa arasında değişmekte, yoğunluğu 800 kg/m³'ün altında olmaktadır (Lamond ve Pielert, 2006).

Genleştirilmiş perlit agregaların hazırlanıp, genleştirilmiş perlitin katkı oranına göre değerlendirmeler yapılmış ve blok bimsbeton üretiminde önemli katkılar sağladığı gözlemlenmiştir (Gündüz ve diğ., 2006).

Genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak yapı malzemesi üretiminin denendiği bir çalışmada, gerekli mekanik testler yapıp en iyi sonucu almak için farklı pişirme, kütleme ve sıkıştırma yöntemleri denenmiştir. Fakat yapılan deneyler sonucunda genleştirilmiş perlit agregası kullanımının yapı malzemesi üretimi için yeterli basınç dayanımını sağlamadığı görülmüştür (Çelik ve diğ., 2014).

Genleştirilmiş perlitin çimento harcındaki etkilerinin incelendiği bir deneyde, genleştirilmiş perlitin su emme kapasitesinin yüksek olduğu ve mekanik açıdan yeterli

dayanım sağlamadığı, bunun yanında işlenebilirlik ve betonun su tutma kapasitesi açısından olumlu özellikler gösterdiği tespit edilmiştir (Lanzo'n ve Garcı'a, 2007).

Genleştirilmiş perlitin dikey ve yanal yüklere karşı etkilerinin incelendiği bir çalışmada, dikey ve yanal yüklere karşı düşük direnç göstermesine karşı, ağırlığın azalmasıyla birlikte binadaki ölü yüklerin de azaldığı bunun yanında, genleştirilmiş perlit kullanımının ısı ve ses yalıtımı ile yangına karşı direnci konusunda olumlu etkiler gösterdiği saptanmıştır (Jamal ve diğ., 1997).

Literatür çalışmalarından birinde, kil tuğla eldesi sırasında numuneler önce 40°C etüvde 20 saat kurutulduktan sonra, 100°C'de 18 saat fırınlanmıştır. Sonrasında ise dakikada 5 °C artacak şekilde 900°C'ye çıkılmış ve 900°C'den 1050°C'e 2 saatte çıkılıp, numuneler fırından alınmıştır (Sutcu ve diğ., 2015).

Başka bir çalışmada ise, iç yapısı incelenmek istenen kil 105 °C'de kurutmuş, fırın sıcaklığı 25°C'den 850°C'ye 8 saatte çıkarılmış, 30 dk 850°C'de bekletilmiş ve sonra 1 saat 30 dk içinde 25°C'ye düşürülmüştür (Gualtieri ve diğ., 2010).

Bir diğer çalışmada kil, uçucu kül ve genleştirilmiş perlit içeren numunelere pişirilmeden önce 100°C'de 12 saat ön kurutma yapılmıştır. Sonrasında, 170°C, 190°C ve 210°C'de 30 dk tutulara pişirilmiş ve 170°C'de pişirilen numunelerin tam kuru olmadığı tespit edilmiş, 210°C'de pişirilen numunelerde ise köprülenme ve kırılma olduğu tespit edilmiştir (Balo, 2011).

Sigara izmaritlerini pişmiş tuğlada kullanarak geri dönüştüren bir çalışmada ise, numuneler 105°C'de 24 saat kurutulmuş, sonrasında ise 1050°C'de fırınlanmıştır (Kadir ve diğ., 2009). Vermikülit eklenerek hafifleştirilen gözenekli tuğlaların dayanım kazanması için pişirildiği bir çalışmada ise numuneler 600°C'de 10 saat fırınlanmıştır (Sutcu, 2015).

Bir başka çalışmada ise, 700 ile 1400°C arasındaki farklı sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulan numunelere ısı iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Dakikada 5°C artan sıcaklık ile 700°C, 1050°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C ve 1400°C sıcaklık uygulanmış ve bu sıcaklıklarda 1 saat tutulmuştur (Michot ve diğ., 2008).

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Kullanılan Malzemeler

Elde ettiğimiz kompozitin üretiminde agrega olarak genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş kil, bağlayıcı olarak duravit fabrikasından elde edilen makarna kil, makarna kil ve Ukrayna toprak kili ile su olarak bileşenleri bulunmaktadır (Başgedik ve diğ., 2021). Çalışmada bu 3 farklı tip kil Şekil 4.1.'de gösterilen değirmen ile öğütüldü ve sonrasında öğütülen killeri 355 mikron boyutundaki elekten geçirildi. Şekil 4.2.'de bağlayıcı olarak kullanılacak olan elenmiş kil çeşitleri gözükmemektedir. Şekil 4.3.'de ise öğütmeden sonra yapılan elek analizinde kullanılan 355 mikron boyutundaki elek gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Killeri öğüten değirmen



Şekil 4.2. Öğütülmüş bağlayıcı olarak kullanılacak kil kipleri



Şekil 4.3. Öğütme yapıldıktan sonra killeri elemek için kullanılan 355 mikron boyutundaki elek

4.1.1. Genleştirilmiş perlit

Perlit pişirildiğinde kendi boyutunun 4 ila 10 katına çıkabilen alüminyum silikat içeren volkanik bir malzemedir. Ham perlit, ezilmiş perlit ve genleştirilmiş perlit olarak 3 farklı çeşidi bulunmaktadır. Perlitin ham hali ile genleştirilmiş halinin fiziksel özellikleri farklılık göstermektedir. Kullanmış olduğumuz perlitin XRF kimyasal analizi Tablo 4.1.'deki gibidir.

Tablo 4.1. Genleştirilmiş perlitin XRF analizi (Basgedik ve diğ., 2021)

Bileşenler	%
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12,5-18
K ₂ O	3,5-5,0
Fe ₂ O ₃	0,3-1,5
MgO	0,1-0,5
Na ₂ O	2,7-4,0
CaO	0,3-2,0
TiO ₂	0,03-0,20
FeO	0-0,10
MnO ₂	0,03-0,10
Cr	0-0,10
Ba	0-0,10
Serbest SiO ₂	0-4,00
Toplam Klorür	0-0,20

XRF analizine göre genleştirilmiş perlitin içeriğinde ana bileşen olarak SiO_2 ile Al_2O_3 miktarının yüzde 71 ila 75 gibi oldukça yüksek bir oranda bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.4.'de genleştirilmiş perlit gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan genleştirilmiş perlitin gösterimi

4.1.2. Genleştirilmiş Kil

Genleştirilmiş kil hafif yapı malzemeleri içinde basınç dayanımı en yüksek olan malzemelerden biridir, bu nedenle çalışmada agrega olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmada 2-4 mm arası boyutlardaki genleştirilmiş kil kullanılmıştır. Bileşenleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Yapılan özgül ağırlık deneyi sonrası kullanılan genleştirilmiş kilin özgül ağırlığı $1,35 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuştur. Özgül ağırlığın bulunması için makarna kile uygulanan işlemler tekrarlanmıştır. Genleştirilmiş kilin XRF analizi Tablo 4.2.'dedir.

Tablo 4.2. Genleştirilmiş kilin XRF analizi

Bileşenler	%
SiO_2	66,90
Al_2O_3	18,40
Fe_2O_3	7,20
CaO	2,00
MgO	1,30
K_2O	2,30
Diğer	8,10

Yapılan XRF analizine bakılacak olursa genleştirilmiş perlitin de yüksek oranda SiO₂ içerdiğini görmekteyiz. Şekil 4.5.'de ise bu çalışmada kullandığımız boyut olan 2 ila 4 mm olan genleştirilmiş kil görülmektedir.



Şekil 4.5. 2-4 mm arası boyutlardaki genleştirilmiş kil

4.1.3. Duravit Makarna Kil (DMK)

Bu tez çalışmasında kullanılan bağlayıcı tiplerinden biri olan duravit makarna kil, Duravit fabrikasından temin edilmiştir. Duravit makarna kilin XRF analizi, Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezinde Omnian, ProTrace, Wroxi aplikasyonlarına sahip, Panalytical / Axios MAX marka ve modelindeki Eagon 2 cihazı ile yapıldı. Analiz sonuçları Tablo 4.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Duravit makarna kilin XRF analizi

Bileşenler	%
SiO ₂	46,22
Al ₂ O ₃	37,79
K ₂ O	2,31
Fe ₂ O ₃	0,98
P ₂ O ₅	0,10
TiO ₂	0,05
CaO	0,03
SO ₃	0,03
K.K	12,49

4.1.4. Makarna Kil (MK)

Çalışmada kullanılan bağlayıcılardan biri olan makarna kilin XRF ile yapılan kimyasal analizi Tablo 1'deki gibidir. Bu tablodan makarna kilin esas olarak SiO₂ ve Al₂O₃'dan oluşmakta olduğunu açıkça görülmektedir. Yapılan özgül ağırlık deneyi sonucu kullanılan makarna kilin özgül ağırlığı 2,28 gr/cm³ bulunmuştur. Makarna kilin XRF analizi Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Makarna kilin XRF kimyasal analizi (Demirkol, 2019)

Bileşenler	%
SiO ₂	60,46
Al ₂ O ₃	33,15
K ₂ O	2,56
Fe ₂ O ₃	1,27
P ₂ O ₅	0,10
TiO ₂	1,67
CaO	0,50
SO ₃	0,17
K.K	0,12

4.1.5. Ukrayna Topak Kili (UTK)

Bir diğer bağlayıcı türü ise Ukrayna toprak kili diye adlandırılan, Ukrayna'dan getirilen kil türüdür. Ukrayna toprak kilinin XRF analizi ise Tablo 4.5.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Ukrayna topak kilin XRF analizi

Bileşenler	%
SiO ₂	40,22
Al ₂ O ₃	34,79
K ₂ O	5,31
Fe ₂ O ₃	0,99
P ₂ O ₅	0,15
TiO ₂	0,08
CaO	0,03
SO ₃	0,03
K.K	18,40

4.2. Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada farklı tip kil çeşitleri ve hafif agrega kullanılarak ısı iletkenlik katkısı en düşük olan karışım elde edilip, kil bağlayıcılı yalıtkan bir kompozit üretmeyi hedeflendi. Dünya enerji konseyinin yaptığı araştırmaya göre dünyanın enerji ihtiyacı gitgide artmakta ve inşaat sektörü, dünyada birinci enerji talebinin yaklaşık yüzde 40'ını oluşturması nedeniyle binaların ısı yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Yapılarda ısı yalıtımının başlıca etmenleri, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özelliğidir. Bu etmenlerden dolayı, yalıtkan kompozit üretiminde geliştirilmiş perlit ve gözenekli yapıdaki malzemelerin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda geliştirilmiş perlit ana hammadde, kil mineralleri bağlayıcı olarak kullanıldığında genellikle kompozitin mukavemet özelliğinin incelendiği, ısı iletkenlik katsayısı en düşük olan dolayısıyla yalıtkanlık özelliği en iyi olan kompozitin bu malzeme kombinasyonları için incelenmediği görülmüştür. Bu çalışmada makarna kil, duravit makarna kil ve Ukrayna topak kili olmak üzere üç farklı kil tipine değişik yüzdelerde geliştirilmiş perlit ve geliştirilmiş kil ekleyerek hangi kompozitin en iyi yalıtkan özellikleri taşıyacağını tespit etmeyi hedefledik. Kullanacağımız malzemelerle hem yalıtkan bir malzeme üretmiş olduk, hem de kil ve hafif agrega kullanarak çevre dostu bir ürün elde etmiş olduk. Bu tez çalışmanın amacı, geliştirilmiş perlit, kil çeşitlerini bağlayıcı olarak kullanarak yüksek yalıtım özelliklere sahip ve ısı iletkenlik katsayısının en düşük olduğu karışım oranını tespit etmek idi.

Çalışmanın başlangıcında hammadde karakterizasyonu gerçekleştirilip devam edildi. Karakterizasyon deneylerinden sonra hangi hammaddelerin yalıtkan bir yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir olduğu belirlenerek laboratuvar çalışmalarına başlandı. Edinilen sonuçlara göre çalışmaya makarna kil, duravit makarna kil ve Ukrayna toprak kili öğütülerek başlandı ve ilk aşamada değişik oranlarda genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş kil oranları ile kıyaslanarak en düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahip kompozit elde edilmesi amaçlandı. Çalışmada kullanılan genleştirilmiş perlit, düşük birim hacim ağırlığı ve yüksek ısı tutma kapasitesi nedeniyle tercih edildi. Daha önceki çalışmalardan edindiğimiz bilgilere göre karışımdaki genleştirilmiş perlit oranının her bir karışım için en az yüzde 50 olması ısıl iletkenlik katsayısının istediğimiz sonucu vermesi için gereklidir. Numuneler bu kriterlere göre hazırlandı. Deneme numuneleri döküldükten sonra Taguchi metodu kullanılarak 9 tip döküm yapıldı. Taguchi metoduyla genleştirilmiş kil ve genleştirilmiş perlit oranı, farklı sıcaklık değerleri, su ve katı oranı ile bağlayıcı kil tipi olmak üzere 4 farklı parametre ile çalışıldı. 24 saat kalıpta bekletilerek elde edilen numuneler 24 saat de 105 ± 5 °C’de etüvde bekletildi. Sonrasında fırında pişirilecek olan numuneler için, fırın sıcaklığı ilk etapta 850-900°C olarak denendi. Bu sıcaklıklarda pişirilen numunelerden yeterli dayanımı alamayınca literatür taraması yapıp, deney planı çizildi. Yapılan literatür çalışması ve deneme numunelerine göre etüv sonrasında 900°C, 1000°C’ ve 1100°C’ olmak üzere 3 farklı sıcaklık değeri kullanıldı. Tüm sıcaklık değerleri için 3 saatte 850°C’ye çıkıldı. Sonrasında, 900°C için bir saatte 850°C’den 900°C’ye çıkılıp, bir saat 900°C’de bekletildi. 1000 °C için bir saatte 850°C’den 1000°C’ye çıkıldı, bir saat 1000°C’de bekletildi. 1100 °C için bir saatte 850°C’den 1100°C’ye çıkıldı, bir saat 1100°C’de bekletildi. Numuneler pişirildikten sonra basınç, kılcallık, su emme, kuru birim ağırlık, büzülme, ultrasonik test, ısıl iletkenlik ölçümü, XRD (X-Işını Kırınım Yöntemi) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntülemesi deneyleri yapıldı. Şekil 4.6.’da hazırlanan karışım, Şekil 4.7.’de kalıba yerleştirme aşamasındaki numuneler, Şekil 4.8.’de ise ise hazırlanan numuneler gösterilmektedir. Şekil 4.9.’da ise pişirilmek üzere fırına konulan (a) ve pişirildikten sonra fırında olan (b) numuneler görülmektedir.



Şekil 4.6. Hazırlanan numunelerin kalıplanmadan önceki hali



Şekil 4.7. Kalıba yerleştirilme aşamasındaki numuneler



Şekil 4.8. Etüvden çıkan (a) ve fırından çıkan (b) numuneler



Şekil 4.9. Pişirilmek üzere fırına konulan (a) ve pişirildikten sonra fırında olan (b) numuneler

4.3. Taguchi Metodu

Taguchi metodu, çok değişkenli denklemleri deneme sayısını azaltarak gerçekleştirmeyi sağlayan bir denklemdir. Bu sayede üretimde maliyet düşüp kalite artmaktadır. Taguchi, istenilen hedef değerde ürünler üretilmesi için kalite kayıplarının giderilmesi gerektiğini düşünüp, sağlam tasarım diye adlandırdığı Taguchi metodunu geliştirdi (Hamzaçebi ve Kutay, 2003). Tablo 4.6.'da Taguchi metodunun ana planı gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Taguchi metodu şeması

		Parametre Numarası(P)													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Aşama Numarası	2	L4	L4	L8	L8	L8	L8	L12	L12	L12	L12	L16	L16	L16	L16
	3	L9	L9	L9	L18	L18	L18	L18	L27	L27	L27	L27	L27	L36	L36
	4	L'16	L'16	L'16	L'16	L'32	L'32	L'32	L'32	L'32					
	5	L25	L25	L25	L25	L25	L50	L50	L50	L50	L50	L50			

Bu çalışmada parametre olarak sıcaklık, kil tipi, genişleştirilmiş kil/ genişleştirilmiş perlit oranı ve su katı oranı olarak 4 parametre bulunmakta ve 3 farklı sıcaklık değeri, 3 farklı kil tipi, 3 farklı genişleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranı ve 3 farklı su katı oranı olduğundan aşama numarası 3 tür. Taguchi metoduna göre 4 parametre ile 3 aşama L9'a tekabül etmekte olduğundan 9 dökümde deney planlandı. L9'un deney planı Tablo 3.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Taguchi metodu L9 deney planı

Deney	P1	P2	P3	P4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

L9'a göre yapılan parametreler ve aşamalar Tablo 4.8.'de, deney planı Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.8. L9'a göre parametrelerin yerleştirilmesi

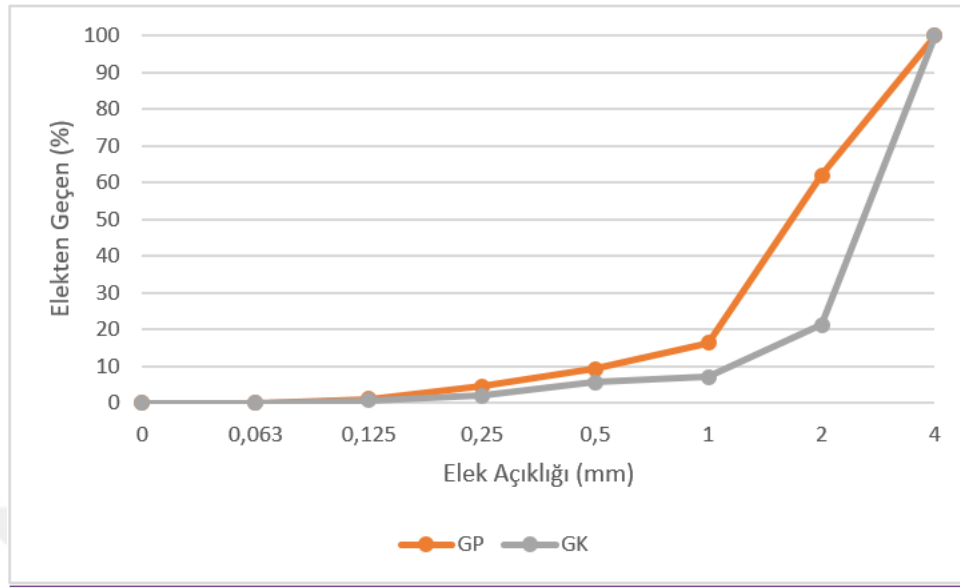
P	L1	L2	L3
Sıcaklık	1100	1000	900
Kil tipi	Duravit mak.	Normal mak.	Ukrayna topak
G.Kil/G.Perlit	1	0,75	0,5
S/K	0,42	0,45	0,48

Tablo 4.9. Taguchi metoduna göre karışım dizaynları

Numune Adı	Bağlayıcı Kil Tipi	Sıcaklık (°C)	Hacimsel Oranlar(%)	
			S/K	G.Kil/G.Perlit
1	Duravit Makarna Kil	1100	42	1
2	Makarna Kil	1100	45	75
3	Ukrayna Topak Kili	1100	48	50
4	Duravit Makarna Kil	1000	48	75
5	Makarna Kil	1000	42	50
6	Ukrayna Topak Kili	1000	45	1
7	Duravit Makarna Kil	900	45	50
8	Makarna Kil	900	48	1
9	Ukrayna Topak Kili	900	42	75

Toplamda 9 tip numune dökümü yapıldı. Yapılan deneyler bu 9 tip numune üzerinde gerçekleştirildi. Her bir numuneden 3'er adet hazırlanıp, deneyler bu numuneler üzerinde yapıldı, nihai sonuçlar için 3 numunenin ortalaması alındı.

4.4. Agrega Garnülometrileri



Şekil 4.10. Genleştirilmiş kil (GK) ve genleştirilmiş perlit (GP)'in granülometri eğrileri

Şekil 4.10.'daki genleştirilmiş kil ve genleştirilmiş perlitin granülometri eğrilerine göre perlit ince fakat iri bir yapıdadır. 4 mm'lik elekten geçen oran iki malzeme için de %100'dür. Bu nedenle kullandığımız malzeme ince malzeme olarak sınıflandırılır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Özgöl Ağırlık

Çalışmaya başlamadan önce tüm malzemelere özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Özgöl ağırlık deneyi için, ilk olarak piknometre boş olarak tartılmış, sonrasında ise içi çizgi hizasına kadar su doldurulup piknometre ve suyun ağırlığı tartılmıştır. Bu esnada her bir malzeme için belirli bir ağırlıkta numune tartılıp, bir huni yardımıyla dışarıya taşmayacak şekilde dikkatlice piknometrenin içerisine numune konulmuştur. Çizginin aşağısında kalacak şekilde belirli bir miktar su doldurup vakum ile piknometre içindeki su ve örneğin havası vakum cihazı ile Şekil 5.1’de gösterildiği gibi içinde hava kabarcığı kalmayacak hale gelene kadar alınmıştır. Son olarak çizgiye kadar su doldurulup varsa kalan hava tekrar alınıp; piknometre, su ve örneğin ağırlığı tartılmıştır. Denklem (5.1)’de yer alan özgül ağırlık formülüyle hesaplama yapılmıştır.

$$G. S = \frac{(Pikn.+Örnek Ağırlığı)-Pikn.Ağırlığı}{(Pikn.+Su Ağırlığı)-Pikn.Ağırlığı-(Pikn.+Su+Örnek Ağırlığı)+(Pikn.+Örnek)} \quad (5.1)$$

G.S = Özgöl Ağırlık



Şekil 5.1. Vakum ile havası alınan piknometre içindeki su ve numune örneği

Yapılan özgül ağırlık deneyi sonuçlarından Duravit makarna kil Tablo 5.1.'de, makarna kil Tablo 5.2.'de Ukrayna toprak kili Tablo 5.3.'de, genişletilmiş perlit Tablo 5.4.'de, genişletilmiş kil Tablo 5.5.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Duravit makarna kile ait özgül ağırlık deneyi sonucu

DURAVİT MAKARNA KİL	1,00	2,00	3,00	4,00
Piknometre Ağırlığı	168,00	168,00	168,00	168,00
Piknometre + Su Ağırlığı	670,90	671,70	671,70	670,90
Piknometre+ Örnek Ağırlığı	183,05	183,00	183,15	183,08
Piknometre + Su + Örnek	680,20	680,40	680,80	680,10
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,46			

Tablo 5.2. Makarna kile ait özgül ağırlık deneyi sonucu

MAKARNA KİL	1,00	2,00	3,00	4,00
Piknometre Ağırlığı	168,00	168,00	168,00	168,00
Piknometre + Su Ağırlığı	670,90	670,90	670,90	670,90
Piknometre+ Örnek Ağırlığı	183,02	183,05	183,03	183,07
Piknometre + Su + Örnek	679,20	679,00	679,50	679,50
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,28			

Tablo 5.3. Ukrayna toprak kiline ait özgül ağırlık deneyi sonuçları

UKRAYNA TOPAK KİL	1,00	2,00	3,00	4,00
Piknometre Ağırlığı	168,00	168,00	168,00	168,00
Piknometre + Su Ağırlığı	670,90	670,90	670,90	670,90
Piknometre+Örnek	183,07	183,07	183,04	183,03
Piknometre + Su + Örnek	678,90	678,70	678,40	678,05
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,05			

Tablo 5.4. Genleştirilmiş perlite ait özgül ağırlık deneyi sonuçları

PERLİT	1,00	2,00	3,00	4,00
Piknometre Ağırlığı	168,00	168,00	168,00	168,00
Piknometre + Su Ağırlığı	670,90	670,90	670,90	670,90
Piknometre+Örnek	169,50	169,51	169,52	169,53
Piknometre + Su + Örnek	668,70	668,50	667,70	667,60
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	0,32			

Tablo 5.5. Genleştirilmiş kilin özgül ağırlık deneyi sonuçları

GENLEŞTİRİLMİŞ KİL	1,00	2,00	3,00	4,00
Piknometre Ağırlığı	168,00	168,00	168,00	168,00
Piknometre + Su Ağırlığı	670,90	670,90	670,90	670,90
Piknometre+Örnek	178,04	178,06	178,01	178,05
Piknometre + Su + Örnek	674,70	673,20	674,20	673,70
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1,35			

Yapılan deney sonuçlarına göre DMK'nın özgül ağırlık değeri 2,46 gr/cm³, MK'nın özgül ağırlığı 2,28 gr/cm³, UTK'nın özgül ağırlık değeri 2,05, genleştirilmiş perlitin 0,32 gr/cm³, genleştirilmiş kilin 1,35 gr/cm³ bulunmuştur.

5.2. Tane Boyutu Analizi

Yapılan tane boyutu analizi deneyi sonucunda, deneyde bağlayıcı olarak kullanılan kil tiplerinin tane boyurları tespit edilmiş ve Tablo 5.6.'da belirtilmiştir.

Tablo 5.6. Deneyde kullanılacak malzemelerin tane boyutu analizi

Tane Boyutu Analizi	
Duravit Makarna Kil	0,1-355 µm
Makarna Kil	0,1-355 µm
Ukrayna Topak Kili	0,1-355 µm
Genleştirilmiş Perlit	0,2-3,1 mm
Genleştirilmiş Kil	0,4-3,8mm

5.3. Basınç Deneyi

Hafif agregalı betonlarda basınç değerleri normal betona göre düşük çıkmaktadır. Bağlayıcı kil tipi, su oranı, pişirilme sıcaklığı ve agregası tipi ile yüzdeleri basınç dayanımını etkileyen faktörlerdir. 50x50x50 mm boyutlarındaki numuneler ASTM C109 standardına göre hazırlanıp, pişirildikten sonra basınç dayanımı tespit edilmiştir.

Deney esnasında numuneler aynı boyuttaki iki çelik küp arasına döküm yüzeyine dik olacak şekilde yerleştirilerek 75 N/sn hız ile yüklenmiş ve elde edilen yüklere göre basınç dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.7.'de gösterilmiştir. Şekil 5.2.'de basınç deney sonuçları verilmiştir. Basınç deneyinin yapıldığı cihaz ve cihaza yerleştirilen numune ise Şekil 5.3.'de gösterilmiştir. Denklem (5.2)'deki basınç dayanım formülü uygulanarak sonuçlar elde edildi. Basınç deney sonuçlarının performans istatistik değerleri Şekil 5.4'de, Anova analizi Tablo 5.8.'de gösterilmiştir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.2)$$

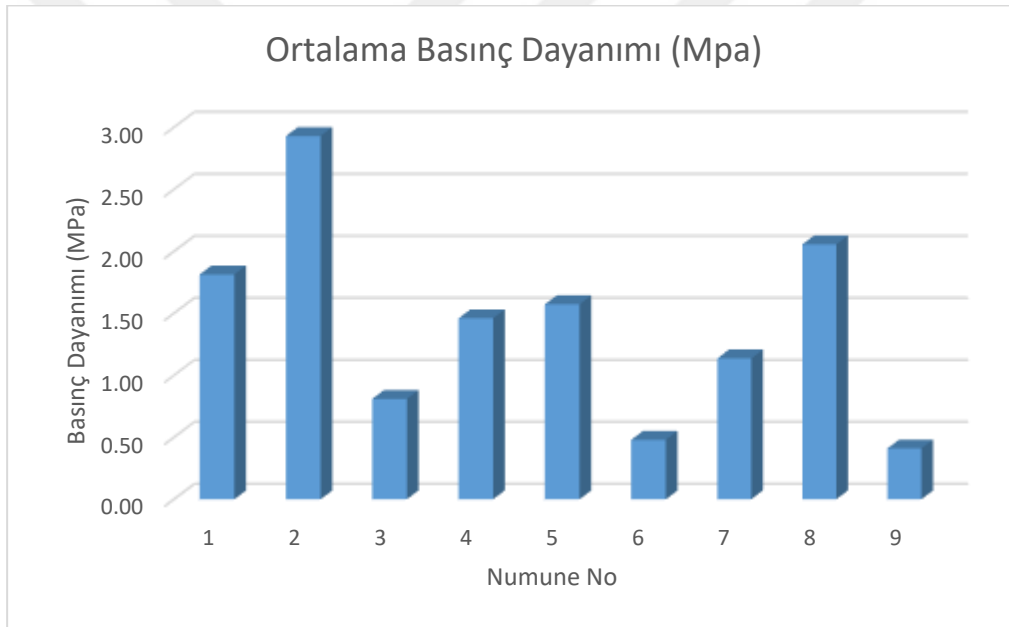
σ = Basınç dayanımı (N/mm²)

P= Kırılma esnasındaki Yük

A= Basınç uygulanan yüzey alanı (mm²)

Tablo 5.7. Numunelerin basınç deney sonuçları

Numune Adı	Basınç Yüğü (kN)			Basınç Yüğü (MPa)			Ortalama Basınç
1	2,76	5,32	4,39	1,24	2,30	1,90	1,81
2	7,10	5,75	6,35	3,08	2,71	3,00	2,93
3	2,47	1,02	1,69	1,16	0,48	0,79	0,81
4	2,48	4,77	3,31	1,03	1,98	1,37	1,46
5	3,43	4,24	3,56	1,42	1,76	1,54	1,57
6	1,00	0,95	1,46	0,42	0,40	0,62	0,48
7	3,81	2,79	1,64	1,52	1,18	0,71	1,14
8	4,22	4,90	5,47	1,72	2,08	2,37	2,06
9	0,88	1,14	0,86	0,37	0,49	0,37	0,41



Şekil 5.2. Numunelerin basınç dayanımlarının kıyaslanması

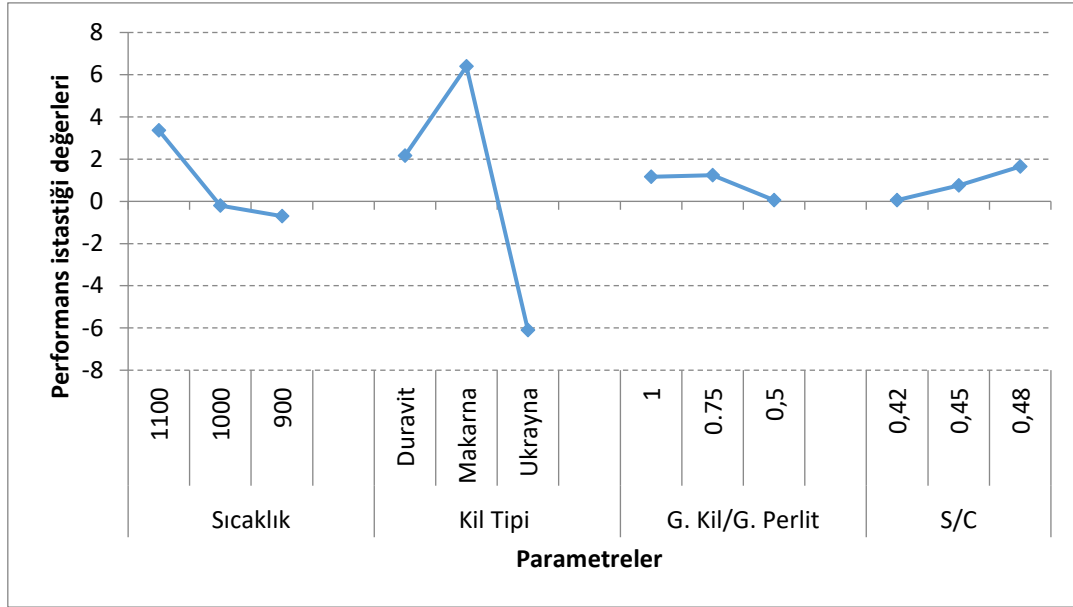
Basınç deneyi sonuçlarına bakacak olursak, en iyi basınç dayanımı değerini 2,93 MPa ile numune 2, sonrasında 2,06 MPa ile numune 8 sağlamıştır. Onları 1 numaralı ve 5 numaralı numuneler takip etmiştir. Numune 2, 5 ve 8'in ortak özelliği bağlayıcı olarak makarna kil (MK) kullanılmış olmasıdır. En kötü sonucu basınç dayanımı sonucunu ise bağlayıcı olarak Ukrayna toprak kil (UTK) kullandığımız 9, 6 ve 3 numaralı numuneler vermiş olup, en düşük dayanım 0,41 MPa dayanım ile 9. Numuneye aittir. Pişme sıcaklığına göre kıyaslayacak olursak, 1100 °C'de pişirilen numunelerin daha 1000°C'ye göre daha iyi dayanımı olduğunu görmekteyiz. Numune 8 haricinde 900 °C'de pişirilen

numunelerin dayanımı diğer sıcaklıklarda pişenlere göre daha düşüktür. Buradan çıkardığımız sonuca göre sıcaklık basınç dayanımına olumlu bir etki göstermektedir.

Bunlara ek olarak, numune 8'in basınç dayanımının deneyde kullandığımız en düşük sıcaklık değeri olan 900°C'de pişmesine rağmen diğer numunelere göre daha yüksek dayanımlı olmasının sebebi genişleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranının 1 olmasıdır. Genleştirilmiş kil basınç dayanımını yükseltmiştir. En yüksek dayanımı veren numune 2'yi inceleyecek olursak, bu yüksek dayanımın sebebi yüksek sıcaklıkta pişmesine ek olarak genişleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranının 0,75 olmasına bağlanabilir. Dayanımı yüksek bir hafif agrega olan genleştirilmiş kilin içerisine dörtte bir oranında genleştirilmiş perlit eklendiğinde, numune pişirildikten sonra genleştirilmiş perlitlerin genleştirilmiş kilin arasındaki boşlukları doldurmaya katkı sağlaması dayanım sonucunun bu şekilde bulunmasına etki etmiştir.



Şekil 5.3. Basınç deneyi cihazı ve dayanımı ölçülmek üzere cihaza yerleştirilen numune



Şekil 5.4. Basınç deney sonuçlarının performans istatistik değerleri

Şekil 5.4.'e göre en iyi basınç dayanımı sağlayan bağlayıcı tipinin Makarna kil olduğu görülmektedir. Bunun yanında 1100 °C'de en iyi basınç dayanımının olduğu ve sıcaklık azaldıkça bu dayanımın azaldığını görmekteyiz. Genleştirilmiş kil/perlit oranında 0,75 ve 1 oranlarında daha iyi dayanım sonucu verdiği görülmüştür. Su/katı oranında ise 0,48'de daha iyi dayanım sonucu verirken, bu değer azaldıkça dayanım azalmaktadır.

Tablo 5.8. Basınç deney sonuçlarının ANOVA Analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	0,88580	16,97%	0,44290	*	*
Kil Tipi	2	3,95402	75,75%	1,97701	*	*
Gen.Kil/Perlit	2	0,28109	5,38%	0,14054	*	*
Su/Katı	2	0,09909	1,90%	0,04954	*	*
Hata	0	*	*	*		
Total	8	5,22000	100,00%			

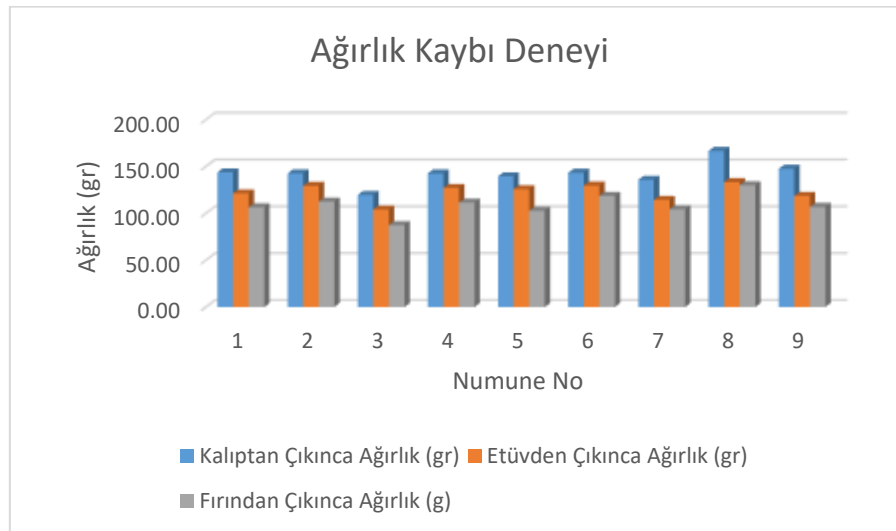
Tablo 5.8'deki Anova analizi sonucuna bakıldığında kil tipinin %75,75 oranında etki ile basınç dayanımını en çok etkileyen faktör olduğunu görülmektedir. Sıcaklığın % 16,97 etki ile basınç dayanımını etkileyen 2. faktör olduğu görülmektedir. Genleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranı ile su/katı oranının basınç dayanımına etkisinin az olduğu görülmektedir.

5.4. Ağırlık Kaybı

Bu deneyde 900°C, 1000°C ve 1100°C’de fırında pişirilen 50x50x50 mm boyutlarındaki 24 saat kalıpta bekleyen numuneler kalıptan çıkarılıp etüvde 105±5 °C’de 24 saat bekletildikten sonra tartıldı. 1, 2 ve 3 numaralı numuneler 1100 °C’de, 4, 5 ve 6 numaralı numuneler 1000°C’de, 7, 8 ve 9 numaralı numuneler 900°C’de pişirildi. Kalıptan çıkınca, etüvden çıkınca ve fırından çıkınca ağırlık kaybı yüzdeleri kıyaslandı. Pişirme işlemi esnasında 3 saatte 850 °C ‘ ye çıkılıp, sonrasında bir saatte çıkılması istenen maximum sıcaklığa ulaşıp, bir saat de bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Tablo 5.9’da kalıptan çıkınca, etüvden çıkınca ve fırından çıktığı zamandaki ağırlıklarının ölçümü gösterilmiştir. Şekil 5.5’de ise Tablo 5.9’daki veriler kullanılarak grafikte gösterilmiştir.

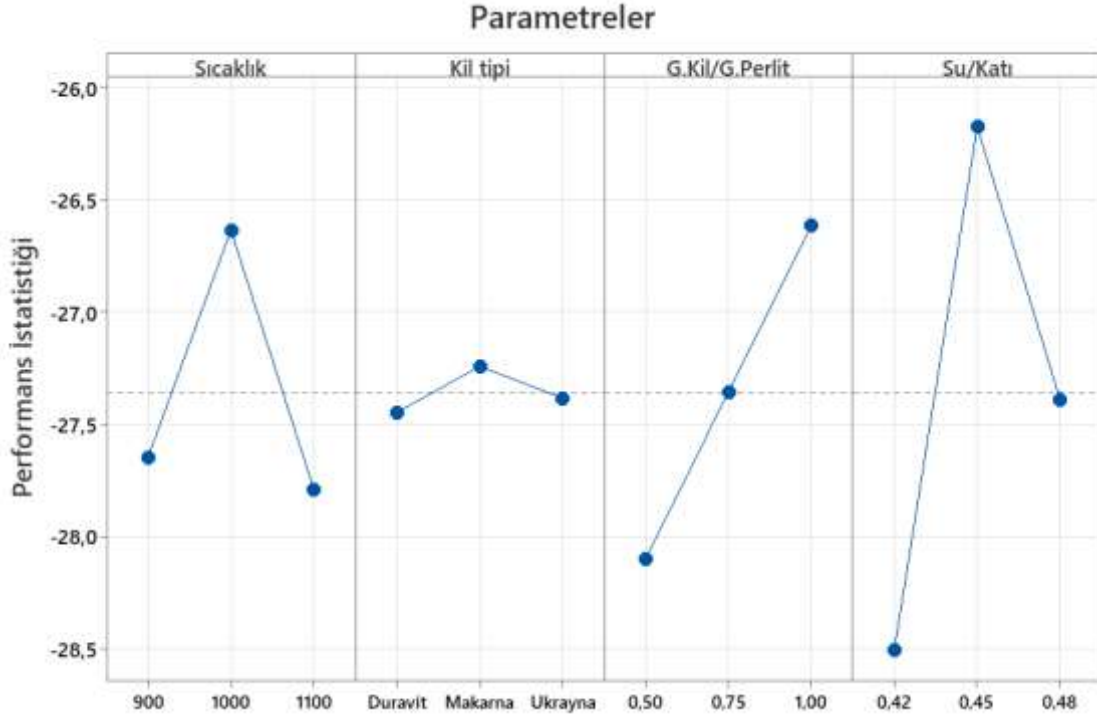
Tablo 5.9. Kalıptan çıkan, etüvden çıkan ve fırından çıkan numunelerin ağırlık kıyaslaması

Numune Adı	Kalıptan Çıkınca Ağırlık (gr)			Etüvden Çıkınca Ağırlık (gr)			Fırından Çıkınca Ağırlık (gr)		
1	148,60	142,50	140,30	127,50	118,80	117,60	114,20	102,90	102,30
2	146,30	142,00	139,60	131,20	129,80	127,10	113,59	113,03	110,95
3	122,30	118,90	117,70	110,00	102,30	99,80	95,80	83,70	82,90
4	145,90	142,40	139,40	128,50	120,40	132,60	113,80	112,30	108,50
5	132,40	135,50	150,60	120,70	121,40	135,40	100,60	102,90	104,80
6	141,70	147,80	140,50	129,20	130,60	129,10	118,50	119,30	118,00
7	133,70	135,60	138,30	112,70	113,60	116,70	102,20	103,50	107,50
8	167,30	170,80	161,60	131,10	138,20	130,70	129,40	131,40	129,30
9	152,30	147,60	142,80	122,10	119,20	114,60	109,50	106,30	104,70



Şekil 5.5. Kalıp, etüv ve fırından çıkan numunelerin ağırlıklarının gösterimi

Şekil 5.5.'e göre etüvden çıkan numunelerin kalıptan çıkan numunelere göre, fırından çıkan numunelerin de etüvden çıkan numunelere göre daha hafif olduğu, deney esnasında ağırlık kaybı olduğu gözlemlenmektedir. Maksimum ağırlık kaybı 8. Numunede kalıptan çıktıktan sonra ile etüvden çıktıktan sonraki aşamasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.6. Ağırlık kaybı deneyinin performans istatistik değerleri

Tablo 5.10. Ağırlık kaybı deneyinin Anova analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	0,025163	39,88%	0,012582	*	*
Kil Tipi	2	0,002468	3,91%	0,001234	*	*
G.Kil/G.Perlit	2	0,011391	18,05%	0,005695	*	*
Su/Katı	2	0,024083	38,16%	0,012042	*	*
Hata	0	*	*	*		
Toplam	8	0,063105	100,00%			

Şekil 5.6.'da ağırlık kaybı deneyinin performans istatistik değerlerine, Tablo 5.10.'da ise Anova analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Tablo 5.10'daki analiz sonuçlarına göre ağırlık kaybını en çok etkileyen iki ana faktör bulunduğu görülmektedir. %39,88 etki ile en fazla

etkileyen faktörün sıcaklık olduğu, onu %38,16 ile Su/Katı oranı olduğu gözlemlenmiştir. Kil tipinin ise ağırlık kaybı deneyi için çok etkili olmadığı görülmektedir.

5.5. Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme

Bu deneyde ASTM C 67-08 standartlarına uygun olarak kuru birim ağırlık ve su emme deneyleri yapıldı. 24 saat kalıpta bekleyen numuneler kalıptan çıkarılıp etüvde 105±5 °C’de 24 saat bekletilip pişirildikten sonra tartılıp, Şekil 5.9.’da gösterildiği gibi 24 saat bekletilmek üzere suya konuldu. 24 saatin sonunda sudan çıkarılan numuneler kuru bir bez ile kurulandıktan sonra tartılarak doygun kuru yüzey ağırlıkları tespit edildi. Sonrasında tekrar etüve konulup 24 saat 105±5 °C’de bekletilen numunelerin ağırlıkları tartıldı. Numunelerin fırın sonrası, kür sonrası ve etüv sonrası ağırlıkları Tablo 5.11.’de gösterilmiştir. Tablo 5.12.’de kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanıp, gösterilmiştir. Kuru birim ağırlık Denklem (5.3)’deki, ağırlıkça yüzde su emme oranı ise Denklem (5.4)’deki formülle hesaplanmıştır. Şekil 5.7.’de numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri, Şekil 5.8.’de su emme deney sonuçları kıyaslanarak gösterilmiştir. Şekil 5.9.’da su emme deneyi yapılan numuneler gösterilmiş, Şekil 5.10.’da kuru birim ağırlık deneyinin performans istatistik değerleri ve Şekil 5.11.’de su emme deneyinin performans istatistik değerleri gösterilmiştir. Tablo 5.13.’de ise kuru birim ağırlık ANOVA analizi ile Tablo 5.14.’de su emme ANOVA analizi gösterilmiştir.

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \quad (5.3)$$

Δ = Kuru birim ağırlık (gr/cm³)

W= Kuru ağırlık (gr)

V= Numune hacmi (cm³)

$$Sa = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (5.4)$$

Sa= Ağırlıkça yüzde su emme (%)

W_d = Doygun kuru yüzey ağırlık (gr)

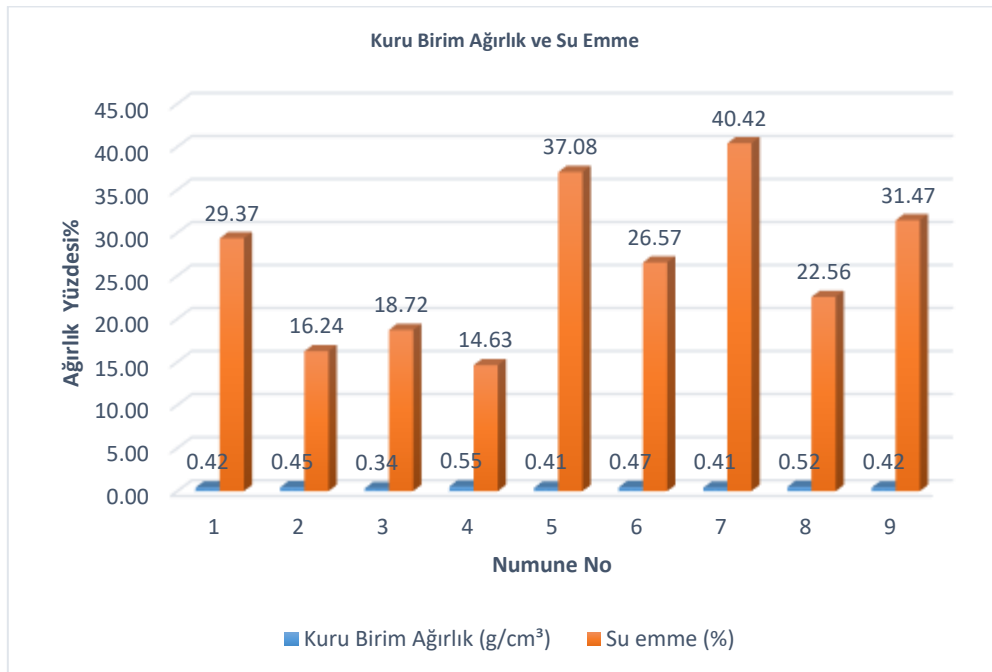
W_k =Kuru ağırlık (gr)

Tablo 5.11. Fırından çıkan, kürden çıkan ve etüvden çıkan numunelerin ağırlıkları

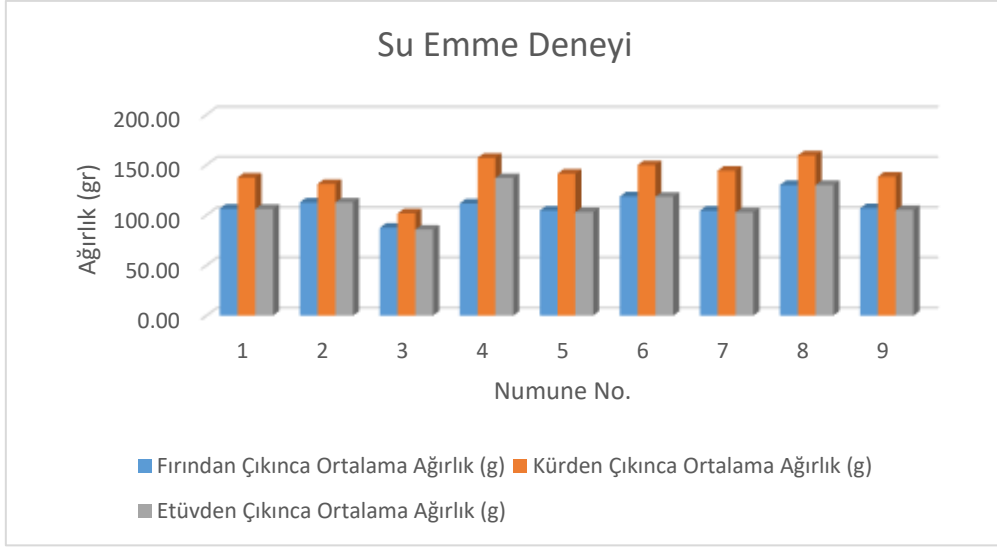
Numune Adı	Fırın sonrası ağırlık (g)			Kürden sonrası Ağırlık (g)			Etüv sonrası Ağırlık (g)		
1	114,20	102,90	102,30	145,50	133,50	132,90	113,90	102,70	101,80
2	113,59	113,03	110,95	131,70	132,00	129,20	113,70	113,30	111,00
3	95,80	83,70	82,90	114,30	96,40	94,40	94,70	81,10	81,20
4	113,80	112,30	108,50	159,20	158,90	152,80	138,70	137,30	134,80
5	105,30	107,80	104,80	138,90	144,80	138,70	103,00	105,70	100,50
6	118,50	119,30	118,00	149,40	152,00	147,80	117,70	120,00	117,20
7	102,20	103,50	107,50	140,80	143,20	148,50	98,80	102,20	107,00
8	129,40	131,40	129,30	163,30	159,00	155,80	133,80	129,80	126,50
9	109,50	106,30	104,70	143,80	137,80	133,20	109,50	105,90	100,10

Tablo 5.12. Numunelerin ağırlık ortalamaları ile kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri

Numune Adı	Fırın sonrası Ağırlık (g)	Kür sonrası Ağırlık (g)	Etüv sonrası Ağırlık (g)	K.Birim Ağ. (g/cm ³)	Su emme (%)
1	106,47	137,30	106,13	0,42	29,37
2	112,52	130,97	112,67	0,45	16,24
3	87,47	101,70	85,67	0,34	18,72
4	111,53	156,97	136,93	0,55	14,63
5	104,53	141,23	103,03	0,41	37,08
6	118,60	149,73	118,30	0,47	26,57
7	104,40	144,17	102,67	0,41	40,42
8	130,03	159,37	130,03	0,52	22,56
9	106,83	138,27	105,17	0,42	31,47



Şekil 5.7. Numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme yüzdeleri

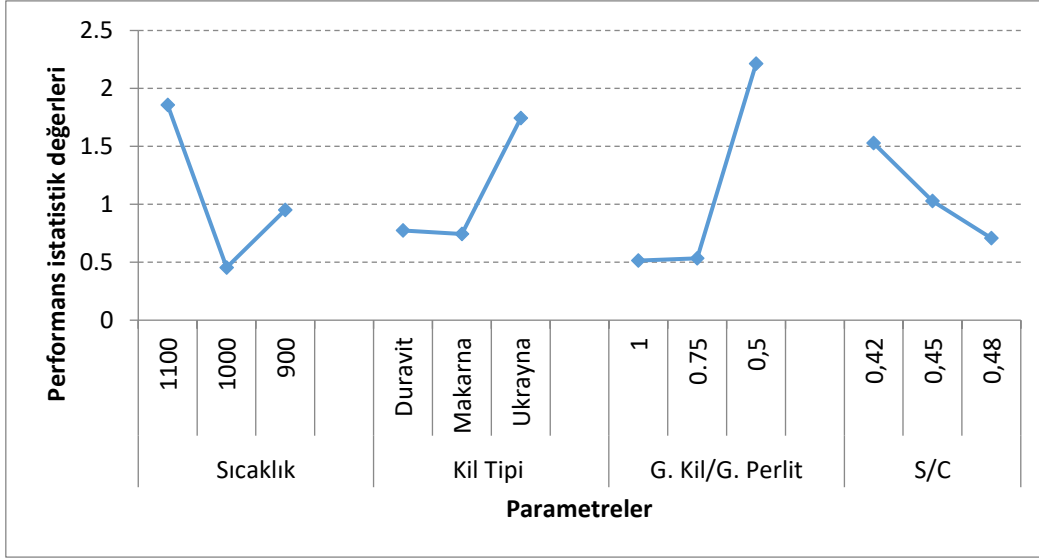


Şekil 5.8. Fırından çıkan, kürden çıkan ve etüvden çıkan numunelerin ağırlıklarının gösterilmesi

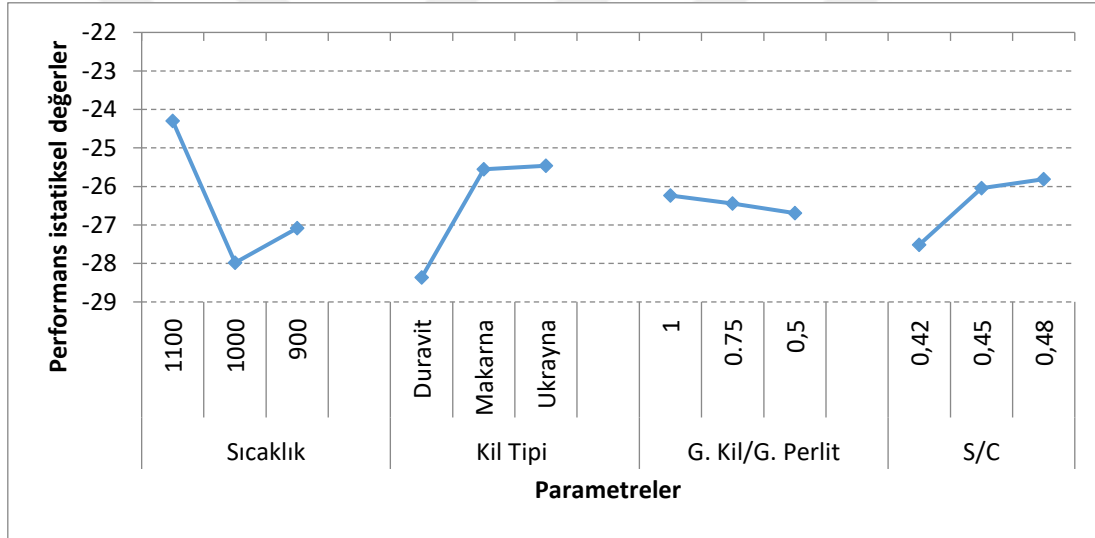
Deney sonucuna bakacak olur isek, kuru birim ağırlığı $0,55 \text{ gr/cm}^3$ ile en yüksek olan 4 numaralı numune aynı zamanda %14,63 ile en düşük su emme kapasitesine sahiptir. Kuru birim ağırlığı $0,41 \text{ gr/cm}^3$ ile en düşük olan 7 numaralı numunenin de aynı zamanda %40,42 ile en yüksek su emme kapasitesine sahiptir. Buradan da anlaşılabacağı gibi kuru birim ağırlık ile su emme birbiriyle ters orantılıdır.



Şekil 5.9. Su emme deneyi yapılan numuneler



Şekil 5.10. Kuru birim ağırlık deneyinin performans istatistik değerleri



Şekil 5.11. Su emme deneyinin performans istatistiksel değerleri

Tablo 5.13. Kuru birim ağırlık deneyi ANOVA Analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	0,03147	25,57%	0,015737	*	*
Kil Tipi	2	0,01905	15,48%	0,009526	*	*
Gen.Kil/Perlit	2	0,05690	46,23%	0,028449	*	*
Su/Katı	2	0,01565	12,71%	0,007824	*	*
Hata	0	*	*	*		
Total	8	0,12307	100,00%			

Tablo 5.14. Su emme deneyi ANOVA Analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	112,926	47,50%	56,463	*	*
Kil Tipi	2	99,779	41,97%	49,889	*	*
Gen.Kil/Perlit	2	5,703	2,40%	2,851	*	*
Su/Katı	2	19,334	8,13%	9,667	*	*
Hata	0	*	*	*		
Total	8	237,741	100,00%			

Tablo 5.14.’deki kuru birim ağırlık ve su emme deneylerinin Anova analizi sonuçlarına bakacak olursak, kuru birim ağırlık deneyinin en çok geliştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranından %46,23 gibi yüksek bir oranla etkilediğini görmekteyiz. Su emme deneyinde is sıcaklık ve kil tipi %40’ların üzerinde etki oranı ile deneyi en çok etkileyen faktörler olarak gözükmemektedir.

5.6. Isıl İletkenlik Deneyi

Isı yalıtımı günümüzde hem enerji tasarrufu sağlamak, hem de binaların dış etmenlerden etkileyerek ömrünün kısılmasını engellemek için bir gereklilik haline gelmiştir. Isı yalıtımı yapılmayan bir binada küf, nem, çiçeklenme gibi sorunlarla karşılaşılırken bir yandan da binayı korozyona gibi zarar verici etkenlere açık hale getirmiş oluruz. Hem bu nedenlerden hem de çevresel faktörlerden dolayı ısı yalıtımı büyük önem arz etmektedir. Elde ettiğimiz kompozit kil bağlayıcılı bir yalıtım malzemesi olup, ısı iletkenlik deneyi yapılarak ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir.

Yapılan ısı iletkenlik deneyleri Kocaeli Üniversitesi’nde ki yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan ve bilgisayar ile değer okuma yapılabilen Hotplate yöntemi ile çalışan cihaz ile yapıldı. Plakalar şeklinde cihazın için yerleştirilen numuneler λ değerlerine sahiptir ve bu değerler bilgisayar ekranından okunabilmektedir.

Isı iletkenlik deneyi yapmak için cihazın boyutuna göre numunelerin dökümü yapılmak üzere hazırlandı. Fakat numuneler etüvde tamamen kurutulmasına rağmen yeterli dayanımı sağlamadığı için kalıptan çıkarırken Şekil 5.12.’de gösterildiği gibi çatlaklar oluştu ve deney gerçekleştirilemedi. Bunun üzerine daha küçük boyutta numuneler döküldü ve deney cihazının iç kısmı kadar bir köpük levha kesilip, ilk olarak köpük levhanın bütün halinde ısı iletkenlik katsayısı tespit edildi. Sonrasında köpük levhanın

orta kısmı numune boyutlarında çıkarılıp, hazırlanan numuneler Şekil 5.13.'deki gibi yerleştirilerek deney gerçekleştirildi. Deney sonuçlarına Tablo 5.15.'de, sonuçların kıyaslanmasına ise Şekil 5.14.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Kalıptan çıkarken çatlayan numune

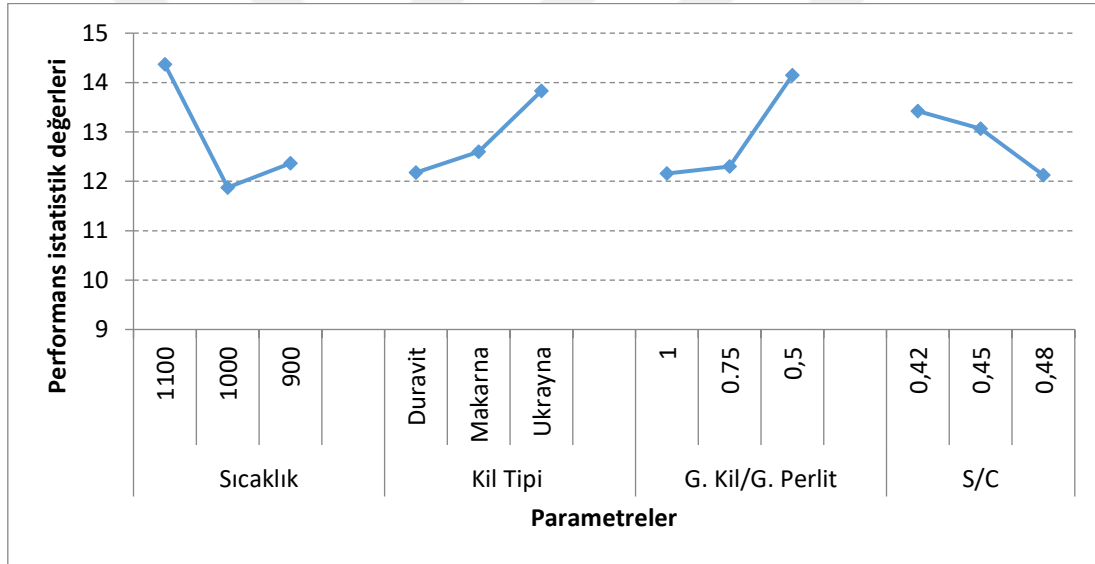


Şekil 5.13. Köpük levha içine yerleştirilen numunelere ısı iletkenlik deneyi uygulanması

Isıl İletkenlik deney sonuçları Tablo 5.15.'de gösterilmiştir. Bu deney sonuçları ve diğer deneylere göre hesaplanan optimum numunede ise en iyi deney sonuçlarına sahip olacak numunedeki ısı iletkenlik katsayısı 0,132 W/m.K bulunmuştur. Tablo 5.16.'da ise ısı iletkenli deneyi ortalama değerlerinin ANOVA Analizi'ne yer verilmiştir.

Tablo 5.15. Isıl iletkenlik deney sonuçları (W/m.K)

Deney Kombinasyonu	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama (W/m.K)
1(1100/DMK/1/0,42)	0.211	0.211	0.211	0.21
2(1100/MK/0,25/0,45)	0.206	0.206	0.206	0.21
3(1100/UTK/0,5/0,48)	0.16	0.161	0.161	0.16
4(1000/DMK/0,75/0,48)	0.32	0.321	0.321	0.32
5(1000/MK/0,5/0,42)	0.213	0.213	0.213	0.21
6(1000/UTK/1/0,45)	0.24	0.242	0.242	0.24
7(900/DMK/0,5/0,45)	0.22	0.22	0.22	0.22
8(900/MK/1/0,48)	0.29	0.294	0.294	0.29
9(900/UTK/0,75/0,42)	0.216	0.216	0.216	0.22



Şekil 5.14. Isıl İletkenlik deneyi performans istatistik değerleri

Tablo 5.16. Isıl iletkenlik deneyi sonuçlarının ANOVA Analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	0,007158	38,11%	0,003579	*	*
Kil Tipi	2	0,003116	16,59%	0,001558	*	*
Gen.Kil/Perlit	2	0,005070	26,99%	0,002535	*	*
Su/Katı	2	0,003438	18,31%	0,001719	*	*
Hata	0	*	*	*		
Total	8	0,018782	100,00%			

Tablo 5.16'daki ısı iletkenlik deneyi Anova analizi sonuçlarına göre, ısı iletkenlik katsayısına en çok etki eden faktör %38,11 ile sıcaklık faktörüdür. Sonrasında %16,59 oran ile genleştirilmiş kil/ perlit ikinci sırada yer almaktadır.

5.7. Kılcal Su Emme

Malzemenin zamana bağlı su emme miktarının tespit edilmesi amacıyla yapılan kılcal su emme deneyinde 24 saat kalıpta bekledikten sonra, kalıptan çıkan numuneler 24 saat 105±5  C'de etüvde tutuldu. Etüvden sonra pişirilen numuneler soğuduktan sonra tartılıp, sadece alt ve st yüzeyi açıkta kalacak şekilde su geçirmez boya ile boyandı. Boyandıktan sonra da tartılan numuneler, ızgara profillerin üzerine birer santimetrelik kısımları suya girecek şekilde şekil 5.16.'daki gibi yerleştirildi. 5., 10., 20., 30., 60., 180., 360. ve 1440. dakikalarda sudan çıkarılıp, kuru bir bezle kurulandıktan sonra standartlara uygun olarak yapılan bu deneyde numunelerin kılcallığı tespit edildi. Boyanan numunelerin ağırlıkları Tablo 5.17.'de verilmiştir. Numunelerin 5.dk, 10.dk, 20dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçümleri ise Tablo 5.18.'de verilmiştir. Ortalamalarına ait 0.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçüm değerleri Tablo 5.19.'da verilmiştir. şekil 5.15.'de ise Tablo 5.19.'daki değerler kıyaslanmıştır. Tablo 5.20.'de numunelerin kılcallık katsayıları gösterilmiş, şekil 5.17.'de ise grafik üzerinde kıyaslanmıştır.

Tablo 5.17. Boyalı numunelerin ağırlık değerleri

Numune Adı	Ağırlık (g)		
1	128,20	113,30	112,00
2	119,10	114,60	115,70
3	100,50	87,80	87,50
4	119,30	117,50	113,00
5	108,40	110,90	105,40
6	121,70	124,40	122,00
7	101,90	106,60	110,50
8	138,30	134,40	132,60
9	115,50	111,70	108,20

Tablo 5.18. Numunelerin 5.dk, 10.dk, 20dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçümleri

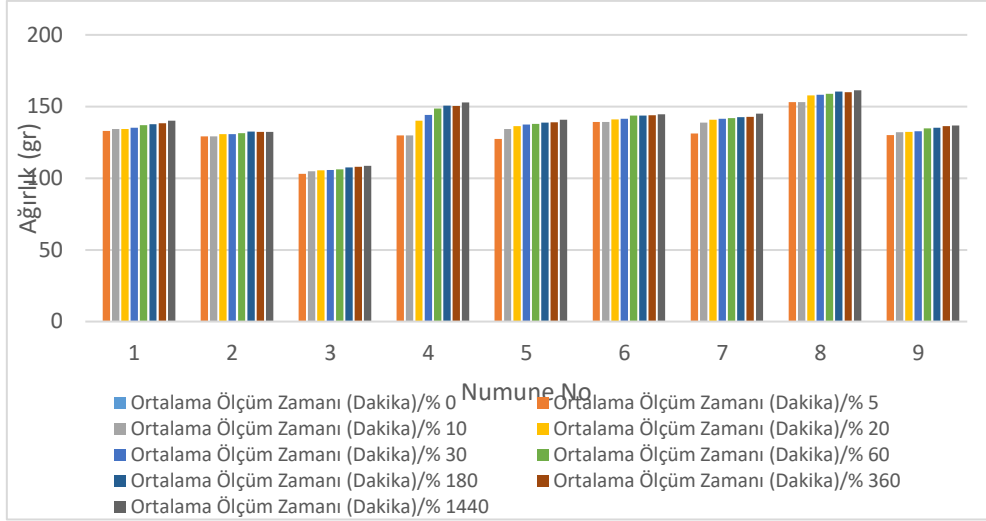
NumAdı	Zamana Bağlı Ağırlıklar (g)											
	5			10			20			30		
1	143	128	128	144	129	130	144	129	130	146	130	130
2	131	128	128	131	129	130	133	129	131	133	129	131
3	113	98	98	115	101	99	115	101	100	116	102	100
4	132	131	126	135	135	131	141	141	139	144	145	144
5	119	134	129	129	140	134	135	140	134	138	140	135
6	138	142	137	139	144	139	140	145	139	140	145	140
7	127	132	135	135	138	144	137	140	146	137	141	146
8	155	152	152	161	157	154	161	158	154	162	158	155
9	135	130	125	135	135	127	136	135	127	136	135	128

Tablo 5.18. (Devam) Numunelerin 5.dk, 10.dk, 20dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçümleri

Num Adı	Zamana Bağlı Ağırlıklar (g)											
	60			180			360			1440		
1	147	132	132	148	133	133	149	133	133	149	135	136
2	133	130	131	134	131	131	135	131	132	135	131	132
3	116	102	101	118	104	101	118	104	102	119	105	102
4	151	150	145	153	151	145	154	152	145	157	155	148
5	138	141	135	138	142	136	139	143	136	141	144	138
6	143	147	141	143	148	141	143	148	141	144	148	142
7	137	142	147	138	142	147	138	142	148	141	145	150
8	163	158	155	163	159	157	163	159	158	165	161	159
9	138	136	130	138	137	131	141	138	131	141	138	131

Tablo 5.19. 5.dk, 10.dk, 20.dk, 30.dk, 60.dk, 180.dk, 360.dk, 1440.dk'daki ağırlık ölçüm değerlerinin ortalaması

Num. Adı	Zamana Bağlı Ağırlıklar (g)								
	0	5	10	20	30	60	180	360	1440
1	0	133	134	134	135	137	138	138	140
2	0	129	129	131	131	131	133	132	132
3	0	103	105	106	106	106	108	108	109
4	0	130	130	140	144	149	151	150	153
5	0	127	134	136	138	138	139	139	141
6	0	139	139	141	142	144	144	144	145
7	0	131	139	141	141	142	143	143	145
8	0	153	153	158	158	159	160	160	161
9	0	130	132	132	133	135	135	136	137



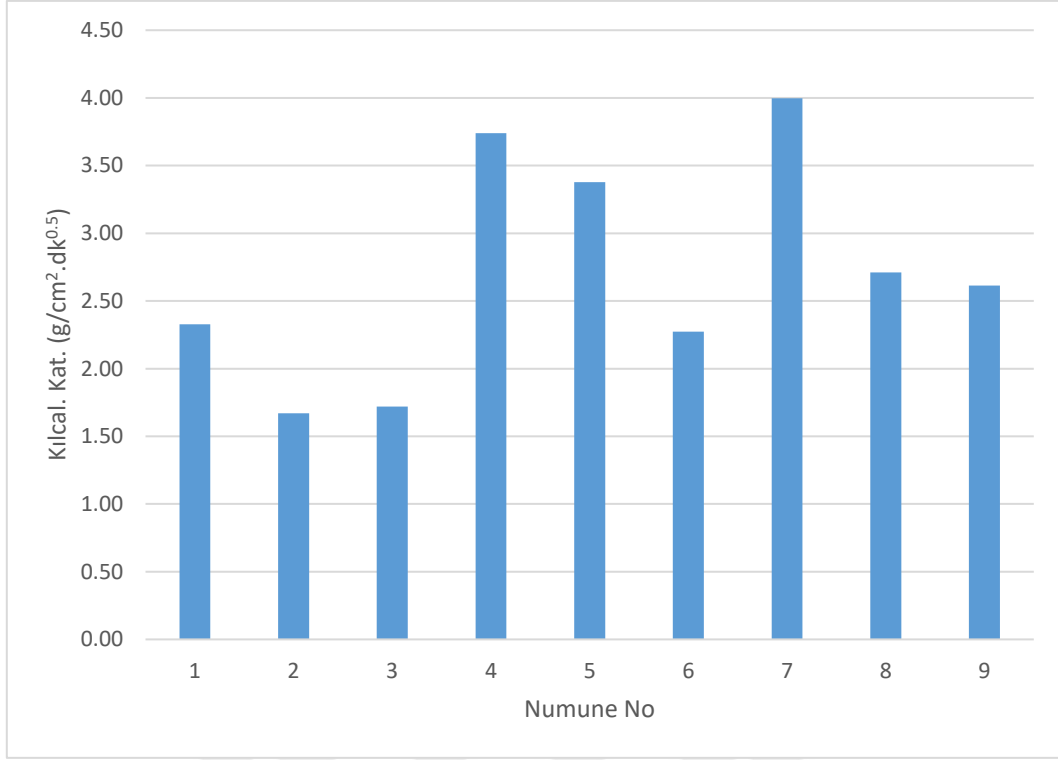
Şekil 5.15. Numunelerin dakikaya göre kılcallıklarının kıyaslanması



Şekil 5.16. Kılcallık deneyi için ızgara üzerine yerleştirilmiş numuneler

Tablo 5.20. Numunelerin kılcallık katsayılarının gösterimi (g/cm².dk_{0.5s}.)

Numune	Kılcallık Katsayısı
1	2.33
2	1.67
3	1.72
4	3.74
5	3.38
6	2.27
7	4.00
8	2.71
9	2.61

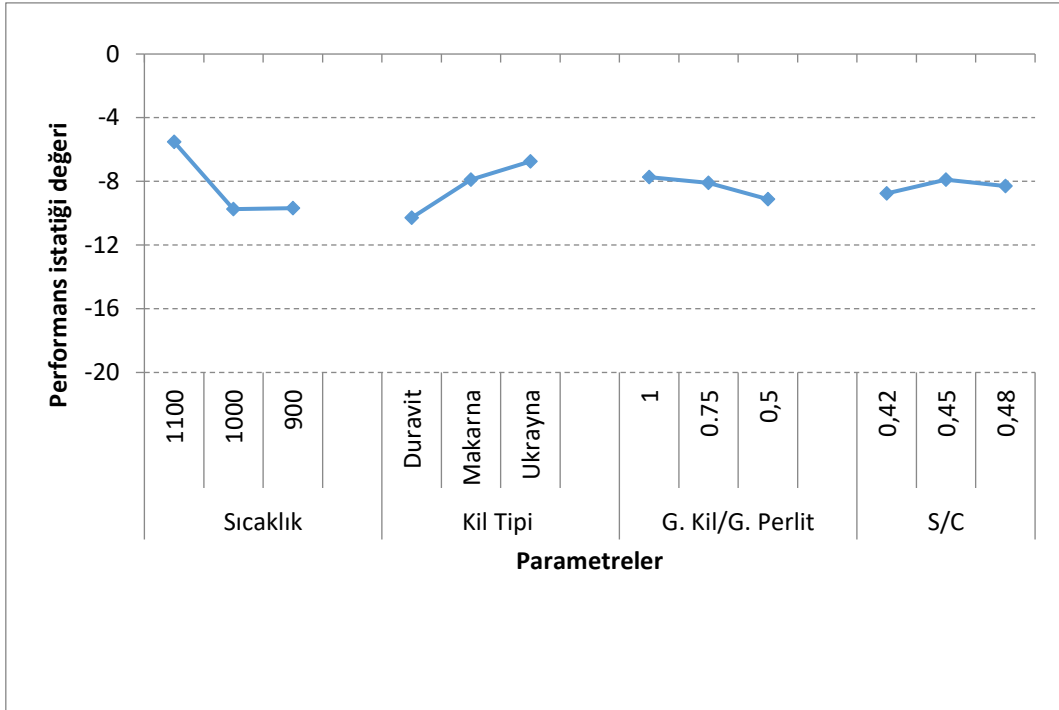


Şekil 5.17. Numunelerin kılcallık katsayılarının grafik üzerinde karşılaştırılması

Şekil 5.17.'ye göre 3 numaralı numunenin kılcallığının en az olduğunu, 4 numaralı numunenin ise kılcallıktan en fazla etkilenen numune olduğunu gözlemlemekteyiz. 3 ile aynı kil tipinin bağlayıcı olarak kullanıldığı 6 ve 9 numaralı numunelerde de diğerlerine kıyasla daha doğrusal bir grafik görmekteyiz. Yine 4 ile aynı tip bağlayıcı kil kullanılan 1 ve 7 de doğrusallıktan daha uzak bir grafik görmekteyiz. Buna göre bağlayıcı kil tipinin kılcallığa etki eden bir faktör olduğu, daha sert yapıdaki 3, 6 ve 9 numaralı numunelerde bağlayıcı olarak kullanılan Ukrayna toprak kilin (UTK), daha yumuşak yapıdaki numune 1, 4 ve 7'de bağlayıcı olarak kullanılan Duravit makarna kile (DMK) göre kılcallık deneyi için daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

9 tip numune içerisinde kılcallık katsayısı en düşük olan numune 1,67 g/cm².dk⁰.⁵s ile 2 numaralı numunedir. Kılcallık katsayısı en büyük olan numune ise 4,00 g/cm².dk⁰.⁵s ile 7 numaralı numunedir. Kılcallık katsayısının daha düşük olması, malzemenin geçimliliğinin daha az olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle bu deneyde en iyi performansı 2 numaralı numune göstermiştir.

Şekil 5.18.'de Kılcal su emme deneyi performans istatistik değerleri ve Tablo 5.21.'de ise kılcal su emme deneyinin Anova analizi yer almaktadır.



Şekil 5.18. Kılcal su emme deneyi performans istatistik değerleri

Tablo 5.21. Kılcal su emme deneyinin ANOVA Analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	2,94248	52,83%	1,47124	*	*
Kil Tipi	2	2,06575	37,09%	1,03288	*	*
Gen.Kil/Perlit	2	0,53711	9,64%	0,26856	*	*
Su/Katı	2	0,02403	0,43%	0,01202	*	*
Hata	0	*	*	*		
Total	8	5,56937	100,00%			

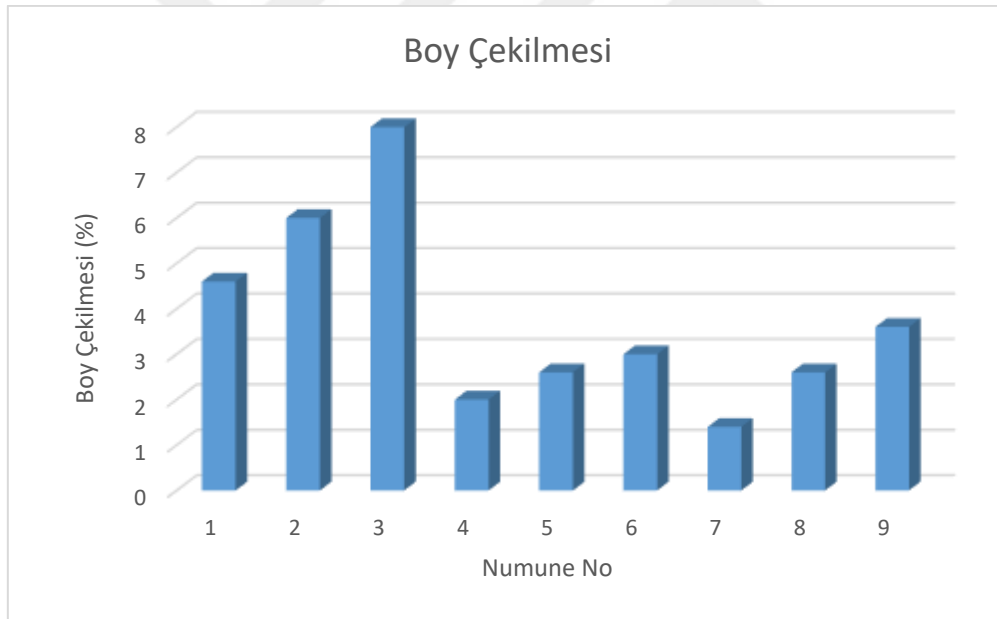
Tablo 5.21.'e göre kılcallık deneyini en çok etkileyen faktör %52,83 etki oranı ile sıcaklıktır, onu %37,09 ile kil tipi takip etmektedir. Su/katı oranının kılcallık katsayısına neredeyse hiç etki etmediği görülmektedir.

5.8. Pişme Küçülmesi Deneyi

Boyutları 50x50x50 mm olan kalıplara yerleştirilen numuneler kalıptan 50x50x50 mm boyutunda çıktı. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin boyutlarında kısalmalar meydana geldi. Bu kısalmaları baz alarak hesaplanan yüksek sıcaklık sonrası boy değişimi deney sonuçları Tablo 5.22.'de gösterilmiştir. Şekil 5.19.'da bu sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 5.22. Pişirme küçülmesi sonrası boy çekilmesi

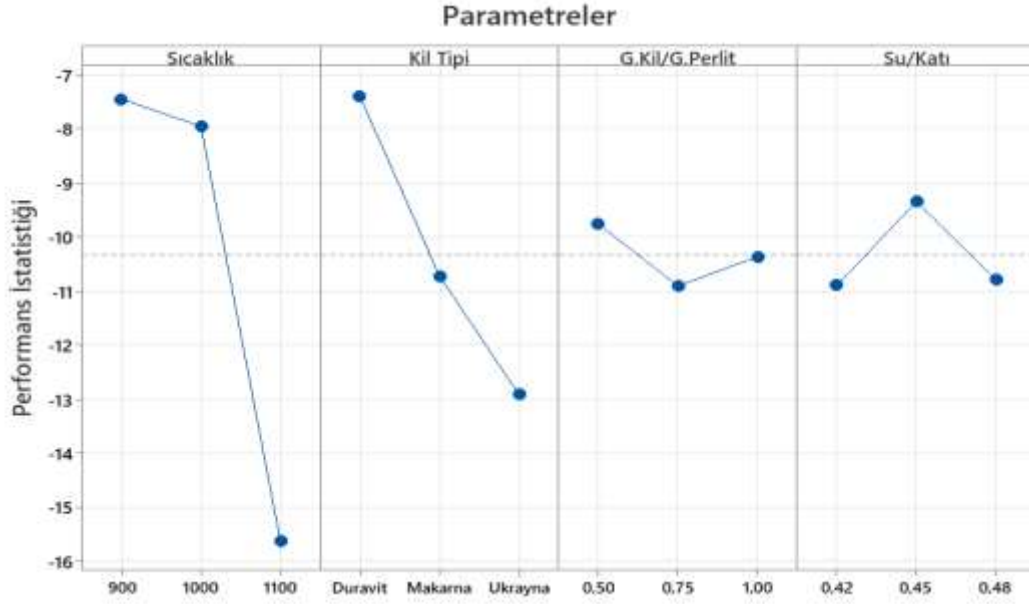
Numune Adı	İlk Boy (cm)			Son Boy(cm)			Ortalama Son Boy	Boy Çekilmesi Yüzdesi (%)
1	5,00	5,00	5,00	4,70	4,80	4,80	4,77	4,6
2	5,00	5,00	5,00	4,80	4,60	4,70	4,70	6,0
3	5,00	5,00	5,00	4,60	4,60	4,60	4,60	8,0
4	5,00	5,00	5,00	4,90	4,90	4,90	4,90	2,0
5	5,00	5,00	5,00	4,90	4,90	4,80	4,87	2,6
6	5,00	5,00	5,00	4,85	4,85	4,85	4,85	3,0
7	5,00	5,00	5,00	5,00	4,90	4,90	4,93	1,4
8	5,00	5,00	5,00	4,95	4,85	4,80	4,87	2,6
9	5,00	5,00	5,00	4,85	4,80	4,80	4,82	3,6



Şekil 5.19. Numunelerin boy değişimi

Şekil 5.19'a göre, 1100 °C'de pişirilen numunelerde, 1000 °C ve 900 °C'de pişirilen numunelere göre daha fazla boy çekilmesi olduğu, 1000°C'de pişirilen numunelerde de 900°C'de pişirilen numunelere göre daha fazla boy çekilmesi olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre, pişirme sıcaklığının artmasının boy çekilmesi miktarını arttırdığı söylenebilir.

Tablo 5.23.'de pişme küçülmesi deneyi Anova analizi sonuçları, Şekil 5.20.'de ise performans istatistik değerleri yer almaktadır.



Şekil 5.20. Pişme küçülmesi deneyi performans istatistik grafiği

Tablo 5.23. Pişme küçülmesi deneyi Anova analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	26,8889	75,40%	13,4444	*	*
Kil Tipi	2	7,2622	20,36%	3,6311	*	*
G.Kil/G.Perlit	2	0,5956	1,67%	0,2978	*	*
S/K	2	0,9156	2,57%	0,4578	*	*
Hata	0	*	*	*		
Toplam	8	35,6622	100,00%			

Tablo 5.23'deki Anova analizi sonuçlarına göre pişme küçülmesi deneyinde sıcaklık oldukça önemli bir faktördür. %75,40 gibi ciddi bir etki faktörü olan sıcaklıktan sonra, %20,36 etki ile kil tipi gelmektedir. Diğer iki faktörün pişme küçülmesi üzerinde pek bir etkisi olmadığı görülmektedir.

5.9. Ultrasonik Test

Ultrasonik test ile numunelerin niteliği ve kalite sınıfının tahribatsız olarak belirlenmesini sağlamaktadır (Özçep, 2017). Katı maddelerin ses dalgalarını iletimi iyi olduğu prensibine dayanarak yapılan bu test yöntemi malzemenin özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Türker ve diğ., 2011; Komlos ve diğ., 1996). Hazırlanan 9 tip numunenin

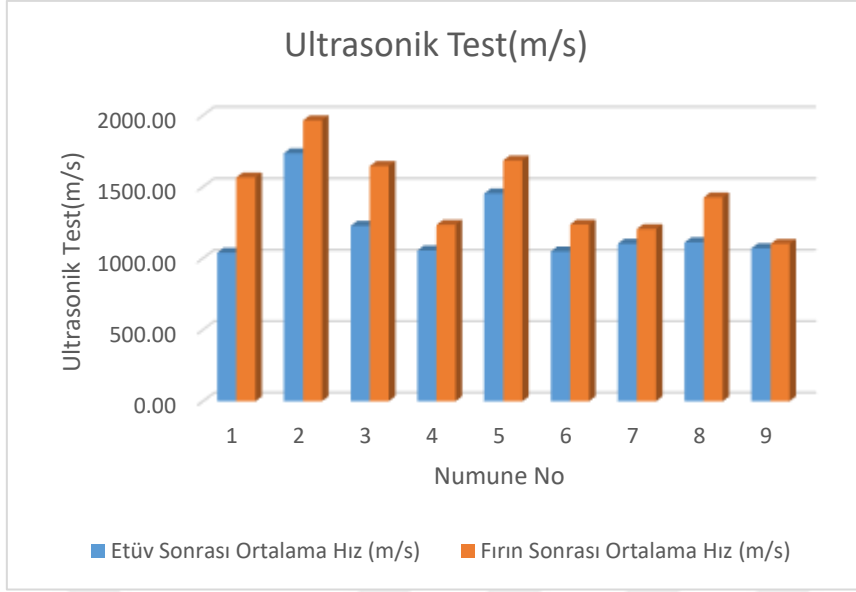
etüv sonrası ve fırın sonrası ultrasonik test sonuçları Tablo 5.24.'de, fırın sonrası, etüv sonrasına kıyasla ultrasonik test hızının artış yüzdeleri Tablo 5.25.'de ve test sonuçları Şekil 5.21.'de gösterilmiştir. Bu test yapılırken Şekil 5.22.'de gösterilen cihaz kullanılmıştır. Cihaz kullanılırken ölçüm yapılacak kısımlara gres yağı sürülüp, malzemenin ses dalgalarını yüzeyden daha iyi iletmesi sağlanmıştır.

Tablo 5.24. Etüvden çıkan ve fırından çıkan numunelere yapılan ultrasonik test deney sonuçları

Numune Adı	Ultrasonik Test (m/s)					
	Etüv Sonrası			Fırın Sonrası		
1	889,70	1113,80	1113,60	1416,40	1748,30	1533,70
2	1413,30	1820,00	1970,80	1577,30	2272,70	2045,90
3	1333,30	1269,00	1079,90	1893,90	1436,80	1607,70
4	1118,30	973,80	1072,70	1250,20	1121,10	1333,30
5	1503,10	1283,40	1575,00	1730,10	1577,30	1748,30
6	1121,10	1052,60	970,90	1207,70	1084,60	1416,40
7	1063,80	1182,00	1059,30	1253,10	1221,10	1141,61
8	1157,40	1123,60	1054,90	1273,30	1084,60	1920,80
9	1175,50	1011,80	1023,60	1231,50	1028,80	1043,80

Tablo 5.25. Fırın sonrası, etüv sonrasına kıyasla ultrasonik test dalga hızının artış yüzdesi

Numune Adı	Etüv Sonrası Ortalama	Fırın Sonrası Ortalama Hız (m/s)	Fırın Sonrası Hız
			Artış Yüzdesi (%)
1	1039,03	1566,13	5,27
2	1734,70	1965,30	2,31
3	1227,40	1646,13	4,19
4	1054,93	1234,87	1,80
5	1453,83	1685,23	2,31
6	1048,20	1236,23	1,88
7	1101,70	1205,27	1,04
8	1111,97	1426,23	3,14
9	1070,30	1101,37	0,31



Şekil 5.21. Ultrasonik test sonuçlarının kıyaslanması

Şekil 5.21.'e göre fırın sonrası ortalama hız, etüv sonrası ortalama hıza göre artmaktadır. Bu da pişirilen numunenin ultrasonik hızının arttığını göstermektedir. En iyi sonucu veren numunenin 2 numaralı makarna kilin kullanıldığı ve 1100 °C'de pişen numune olduğu, en kötü sonucu veren numunelerin ise Ukrayna toprak kil kullanılan 6 ve 9 numaralı numuneler olduğu görülmektedir.

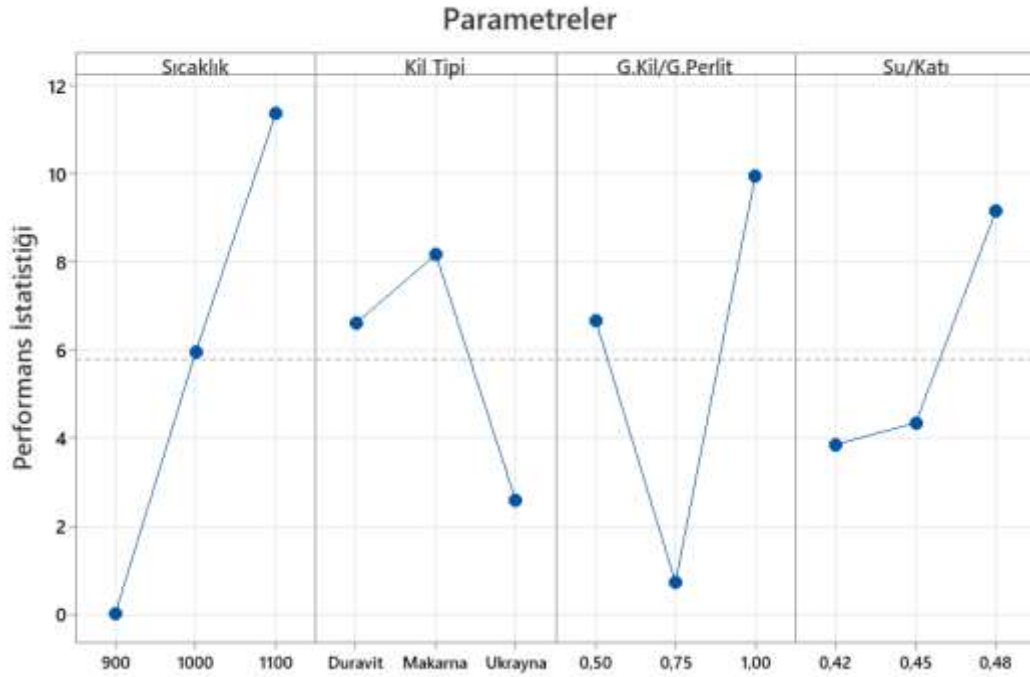


Şekil 5.22. Deneyde kullanılan ultrasonik test cihazı

Tablo 5.25.'e göre ürettiğimiz kompozitin ultrasonik test sonuçlarının çok zayıf sınıfında yer aldığını görmekteyiz. Etüv sonrası fırında pişirilen numunelerin ultrasonik test dalga

hızı artsa da yine de yeterli hızı sağlayamamıştır. Fırından çıkan numunelerin piştikten sonra geçirdiği ultrasonik test dalga hızı artmış, etüve göre daha iyi özellik göstermiştir.

Şekil 5.23.'de ultrasonik test sonuçlarının performans istatistiksel değerleri, Tablo 5.26.'da ise Anova analizi verilmiştir.



Şekil 5.23. Ultrasonik test sonuçlarının performans istatistiksel değerleri

Tablo 5.26. Ultrasonik test sonuçlarının Anova analizi

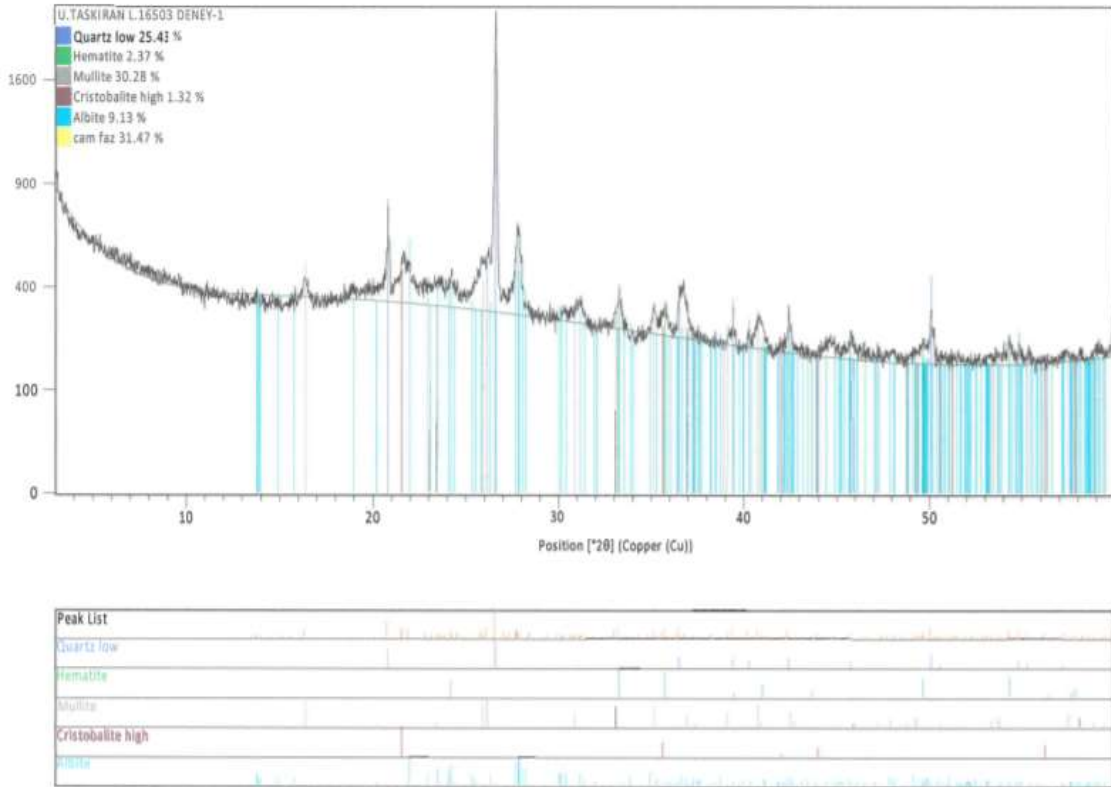
Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	9,8327	52,26%	4,9164	*	*
Kil Tipi	2	0,5577	2,96%	0,2788	*	*
G.Kil/G.Perlit	2	5,7658	30,64%	2,8829	*	*
S/K	2	2,6597	14,14%	1,3298	*	*
Hata	0	*	*	*		
Toplam	8	18,8160	100,00%			

Tablo 5.26'ya göre, ultrasonik test sonucuna en çok etki eden faktör %52,26 ile sıcaklık olarak görülmektedir. Sıcaklığı %30,64 etki oranı ile genişletilmiş kil/perlit oranı izlemektedir. Deney sonuçlarını en az etkileyen faktörün ise kil tipi olduğu görülmektedir.

5.10. XRD Analizi

Numuneler içyapısı incelenmek üzere laboratuvara gönderilmiş ve XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 5.24.'de 1 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.25.' de 2 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.26.'da 3 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.27.'de 4 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.28.'de 5 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.29.'de 6 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.30.'da 7 numaralı deneyin XRD analiz grafiği, Şekil 5.31.'de 8 numaralı deneyin XRD analizi, Şekil 5.32.'de ise 9 numaralı deneyin XRD analiz grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.33.'de ise tüm numunelerin XRD sonuçlarının kıyaslanması gösterilmektedir.

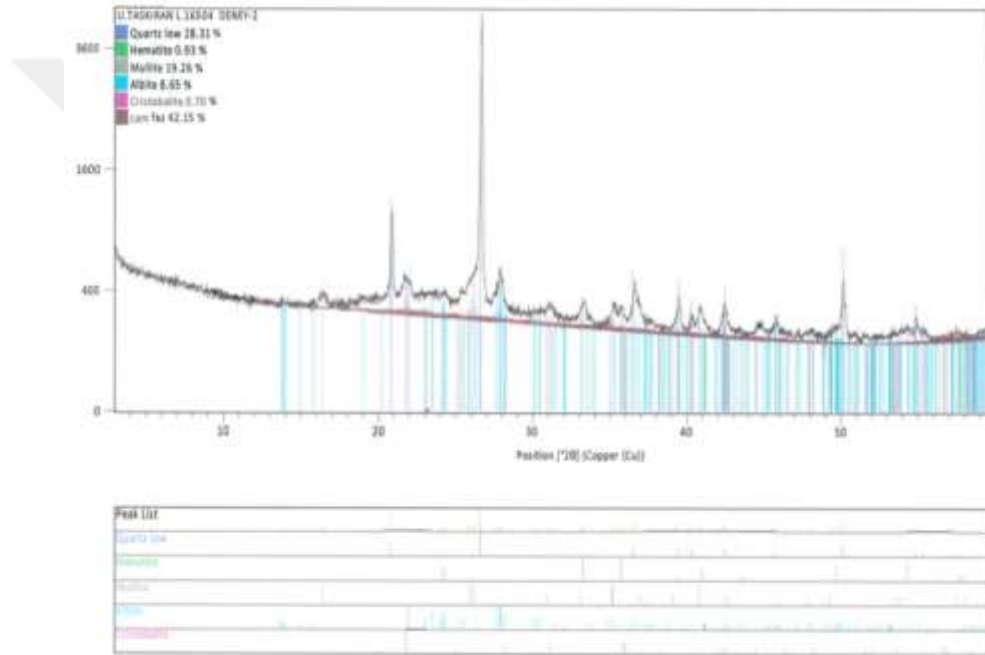
Tablo 5.27.'de ise 1 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.28.'de 2 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.29.'da 3 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.30.'da 4 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.31.'de 5 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.32.'de 6 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.33.'de 7 numaralı deneyin XRD analiz içeriği, Tablo 5.34.'de 8 numaralı deneyin XRD içeriği, Tablo 5.35.'de ise 9 numaralı deneyin XRD analiz içeriği gösterilmiştir.



Şekil 5.24. 1 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.27. 1 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

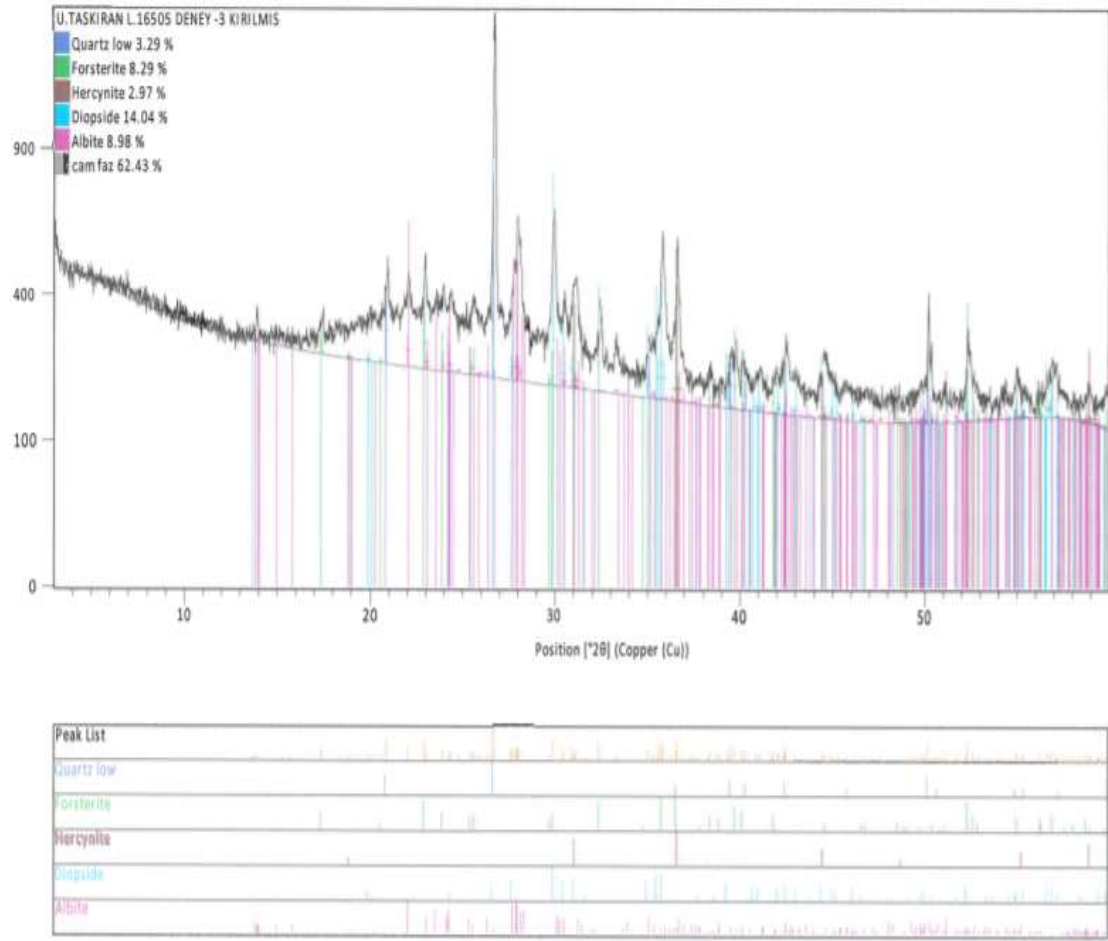
Element	%
K.K	0,50
SiO ₂	59,65
Al ₂ O ₃	28,81
TiO ₂	0,74
Fe ₂ O ₃	3,96
CaO	1,06
MgO	1,04
Na ₂ O	1,06
K ₂ O	2,50
P ₂ O ₅	0,26
Toplam	99,32



Şekil 5.25. 2 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.28. 2 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

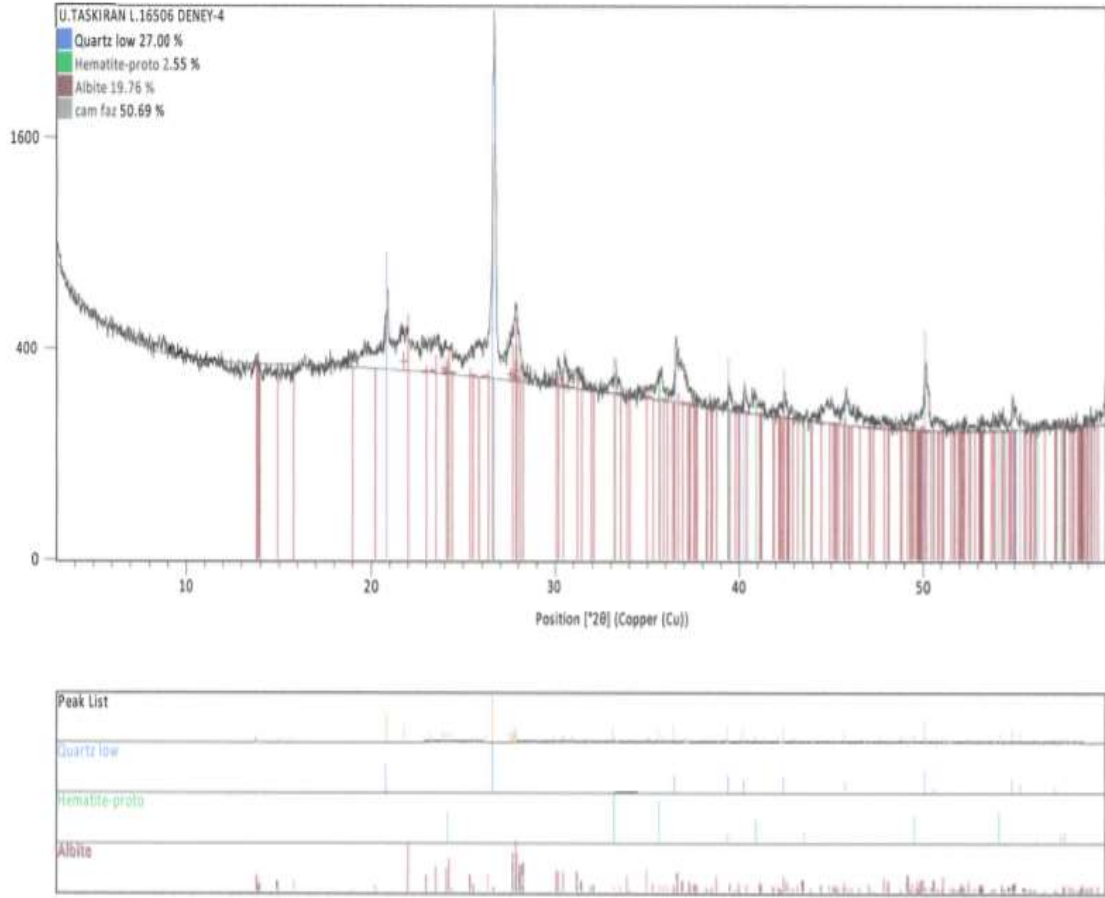
Element	%
K.K	0,42
SiO ₂	63,79
Al ₂ O ₃	25,32
TiO ₂	1,29
Fe ₂ O ₃	3,20
CaO	0,98
MgO	0,94
Na ₂ O	1,06
K ₂ O	2,09
P ₂ O ₅	0,21
Toplam	99,09



Şekil 5.26. 3 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.29. 3 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

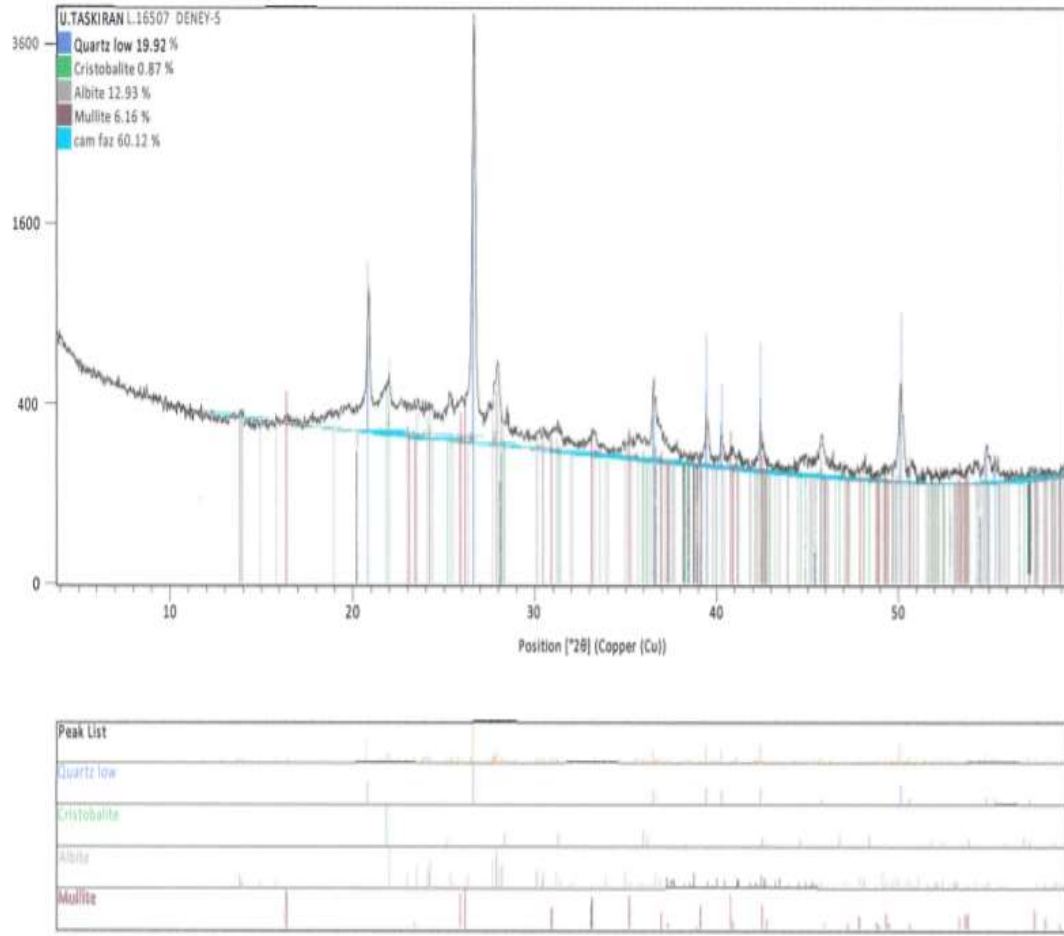
Element	%
K.K	0,35
SiO ₂	62,05
Al ₂ O ₃	11,12
TiO ₂	0,64
Fe ₂ O ₃	3,64
CaO	3,10
MgO	11,39
Na ₂ O	5,18
K ₂ O	1,91
SO ₃	0,10
P ₂ O ₅	0,14
Toplam	99,38



Şekil 5.27. 4 Numaralı numunenin XRD analizi

Tablo 5.30. 4 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

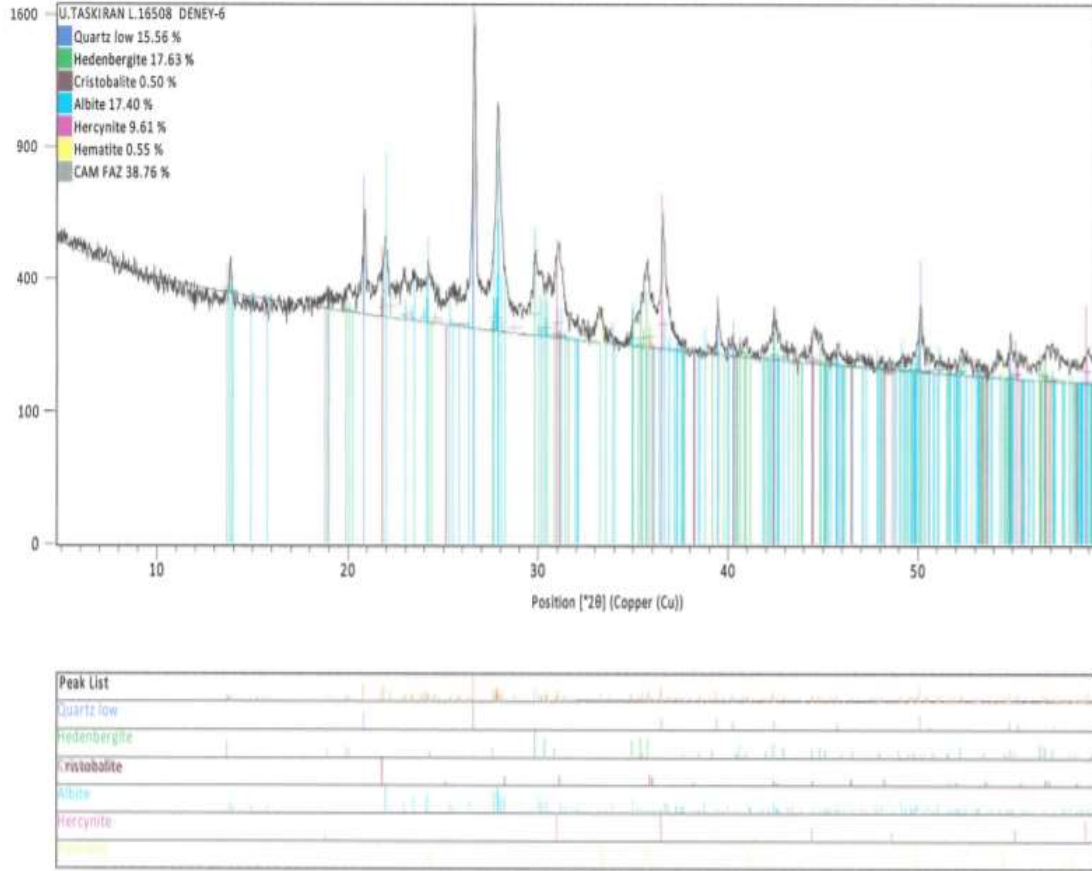
Element	%
K.K	0,65
SiO ₂	59,18
Al ₂ O ₃	30,32
TiO ₂	0,59
Fe ₂ O ₃	3,33
CaO	0,88
MgO	0,85
Na ₂ O	0,94
K ₂ O	2,62
SO ₃	0,10
P ₂ O ₅	0,23
Toplam	99,36



Şekil 5.28. 5 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.31. 5 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

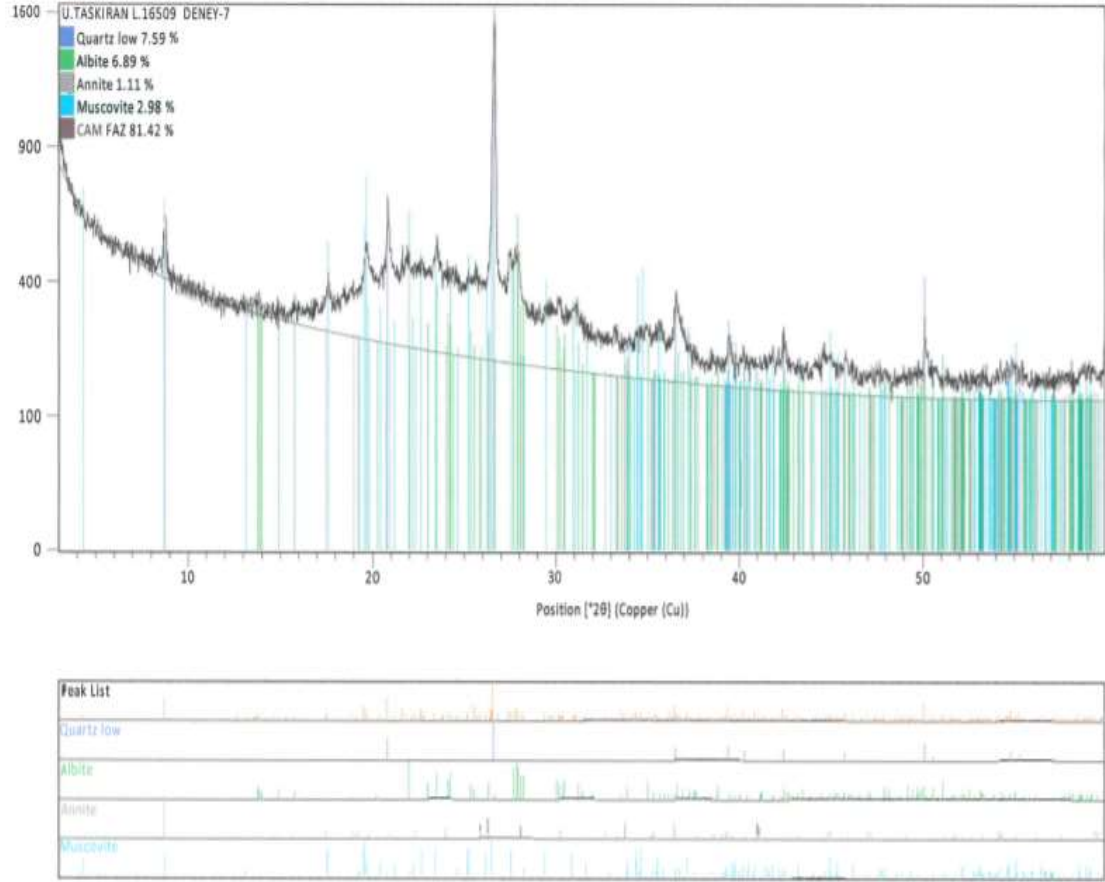
Element	%
K.K	0,61
SiO ₂	64,13
Al ₂ O ₃	25,70
TiO ₂	1,23
Fe ₂ O ₃	2,71
CaO	0,88
MgO	0,83
Na ₂ O	1,05
K ₂ O	2,18
P ₂ O ₅	0,23
Toplam	99,32



Şekil 5.29. 6 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.32. 6 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

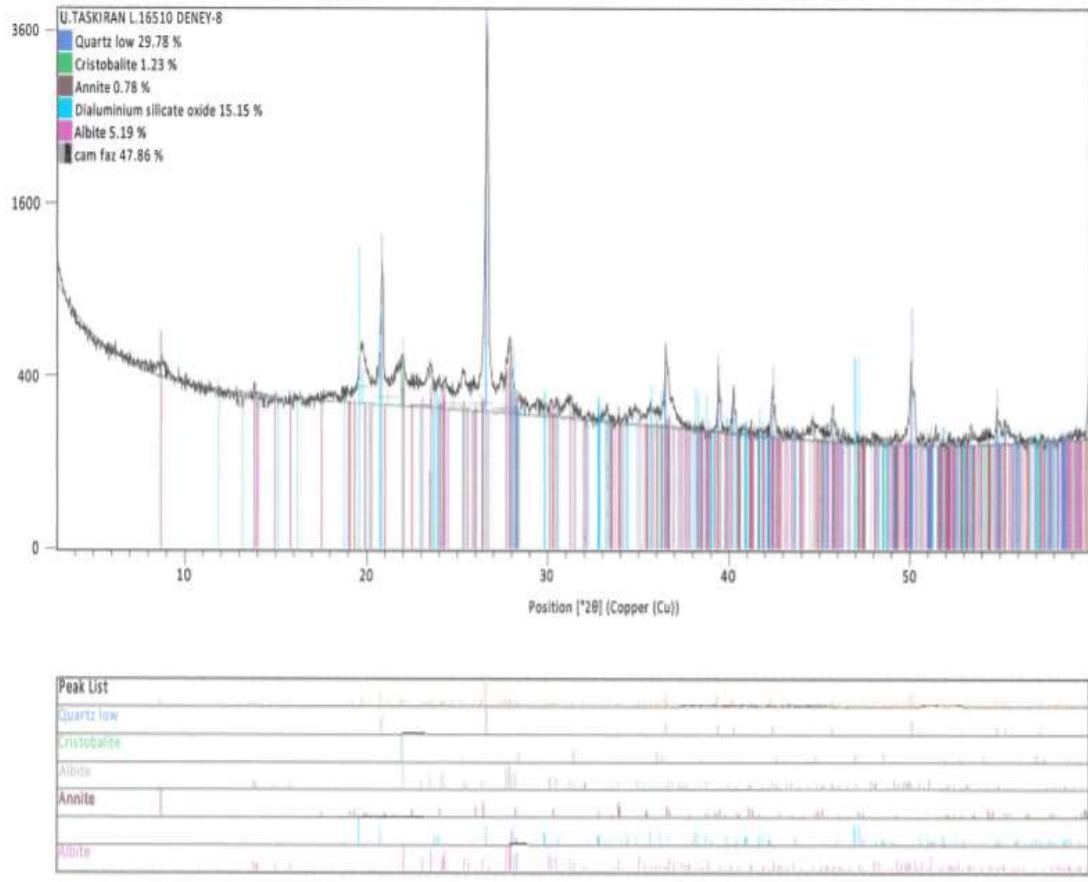
Element	%
K.K	0,34
SiO ₂	61,56
Al ₂ O ₃	13,36
TiO ₂	0,95
Fe ₂ O ₃	4,73
CaO	2,71
MgO	9,25
Na ₂ O	4,41
K ₂ O	1,97
SO ₃	0,19
P ₂ O ₅	0,22
Toplam	99,28



Şekil 5.30. 7 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.33. 7 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

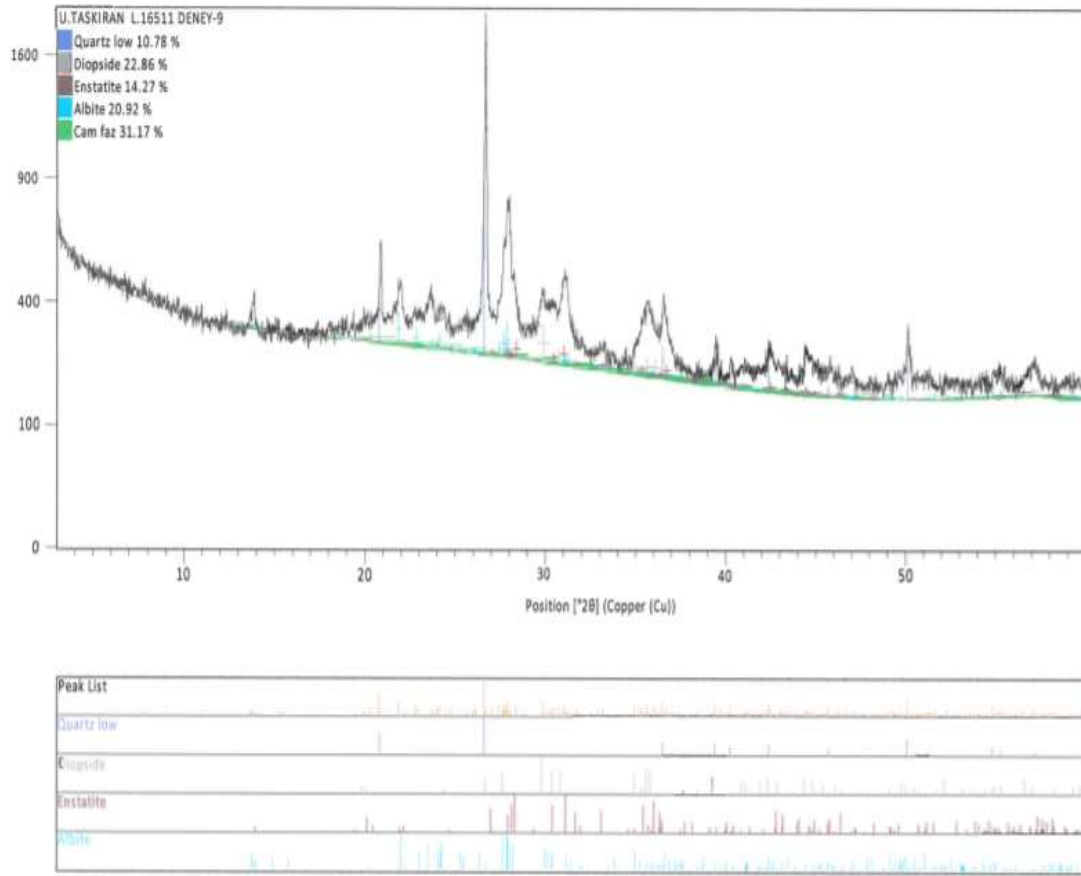
Element	%
K.K	0,79
SiO ₂	58,89
Al ₂ O ₃	31,23
TiO ₂	0,69
Fe ₂ O ₃	2,87
CaO	0,68
MgO	0,76
Na ₂ O	0,91
K ₂ O	2,70
P ₂ O ₅	0,22
Toplam	99,52



Şekil 5.31. 8 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.34. 8 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

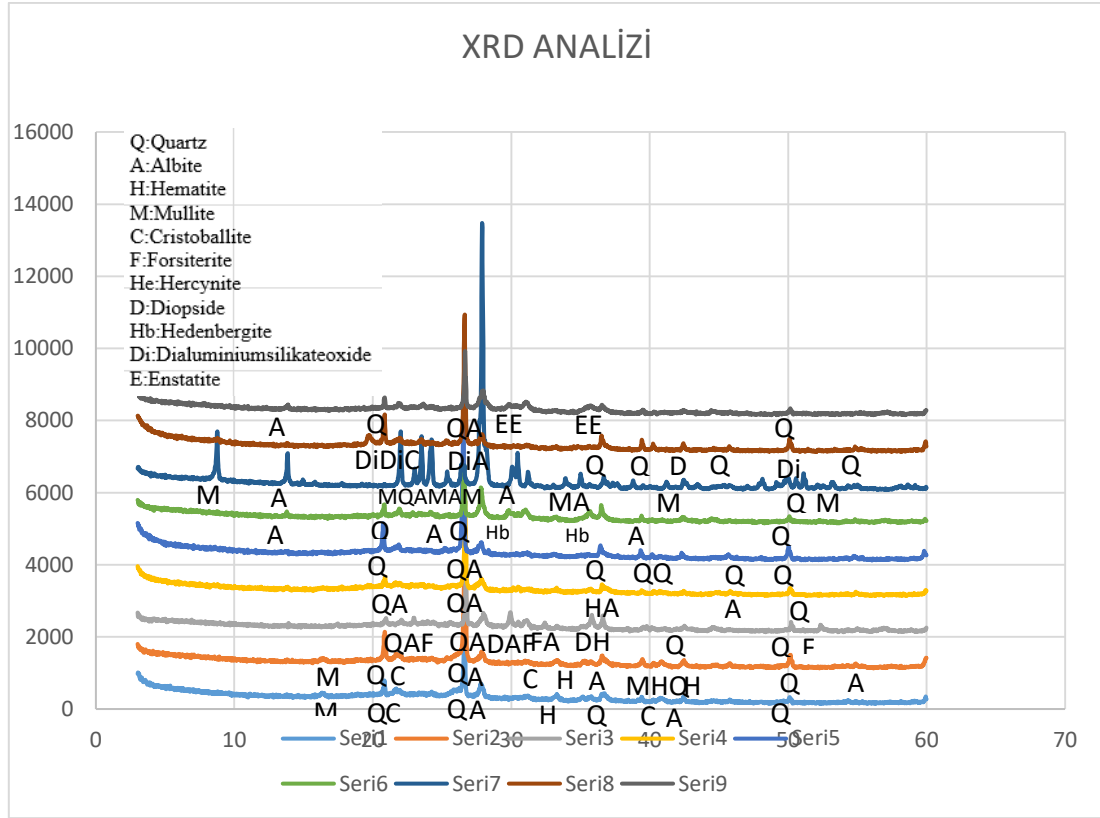
Element	%
K.K	0,92
SiO ₂	63,48
Al ₂ O ₃	24,56
TiO ₂	1,44
Fe ₂ O ₃	3,51
CaO	1,13
MgO	1,07
Na ₂ O	1,11
K ₂ O	2,03
SO ₃	0,18
P ₂ O ₅	0,26
Toplam	99,25



Şekil 5.32. 9 Numaralı deneyin XRD analiz grafiği

Tablo 5.35. 9 Numaralı deneyin XRD analiz içeriği

Element	%
K.K	0,59
SiO ₂	62,06
Al ₂ O ₃	12,10
TiO ₂	0,80
Fe ₂ O ₃	4,16
CaO	2,66
MgO	10,17
Na ₂ O	4,82
K ₂ O	1,94
SO ₃	0,22
P ₂ O ₅	0,18
Toplam	99,30



Şekil 5.33. Tüm numunelerin XRD analizi kıyaslanmasının bir grafikte gösterimi

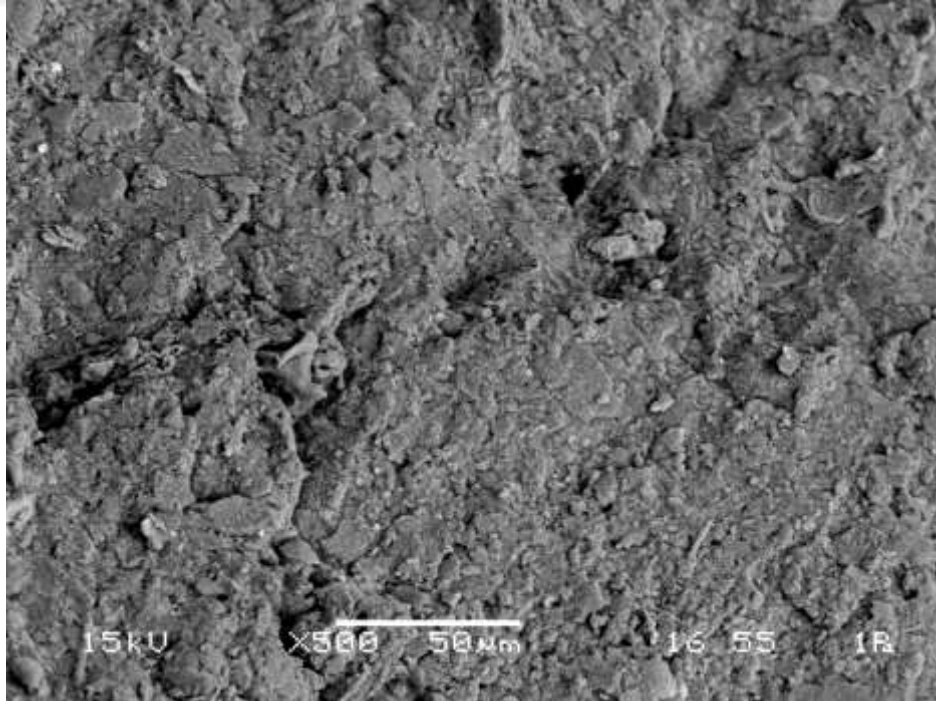
Yapılan XRD analizine göre numunelerin ağırlıklı olarak SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluştuğunu görmekteyiz. Bunlara ek olarak numune yapılarında TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 ve SO_3 bulunduğu saptanmıştır. Numunelerin yapısında Diopsid gibi kalsiyum içeren, Mullite gibi alüminyum içeren ve Albit gibi sodyum içeren minerallerin bulunması farklı faz dönüşümlerinin olduğunu göstergesidir ve bunların pik yaptığı gözlemlenen numunelerin içyapılarının daha kompakt ve basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları ile numunelerin XRD analizi sonuçları bu noktada paralellik göstermektedir.

5.11. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülemesi

Hazırlanan numunelerin mikroyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. İçyapılarına bakılarak, hangi numunelerin daha kompakt, hangi numunelerin daha boşluklu yapıda olduğu tespit edildi. Şekil 5.34.'de deney 1'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.36.'da deney 2'ye ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.38.'de deney 3'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile

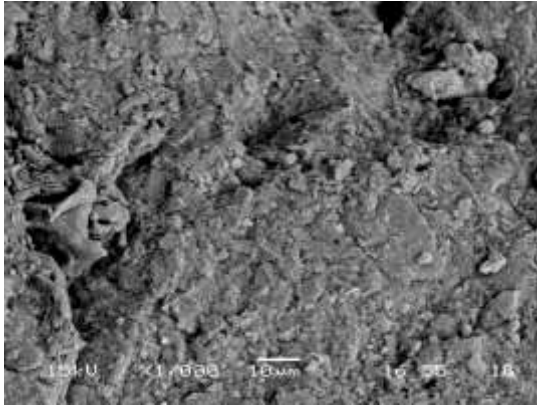
incelenmesi, Şekil 5.40.'da deney 4'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.42.'de deney 5'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.44.'de deney 6'ya ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.46.'da deney 7'ye ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.48.'de deney 8'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi, Şekil 5.50.'de deney 9'a ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi gösterilmiştir.

Şekil 5.35. ve Tablo 5.36.'da deney 1'e ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.37. ve Tablo 5.37.'de deney 2'ye ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.39. ve Tablo 5.38.'de deney 3'e ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.41. ve Tablo 5.39.'da deney 4'e ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.43.'de ve Tablo 5.40.'da deney 5'e ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.45. ve Tablo 5.41.'de deney 6'ya ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.47. ve Tablo 5.42.'de deney 7'ye ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.49. ve Tablo 5.43.'de deney 8'e ait numunelerin EDS Analizi, Şekil 5.51. ve Tablo 5.44.'de deney 9'a ait numunelerin EDS Analizi bulunmaktadır.

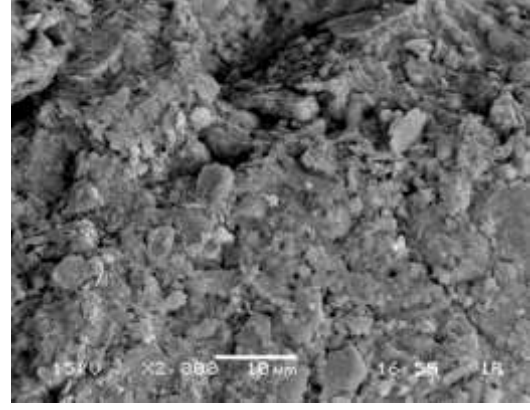


(a)

Şekil 5.34. Deney 1'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

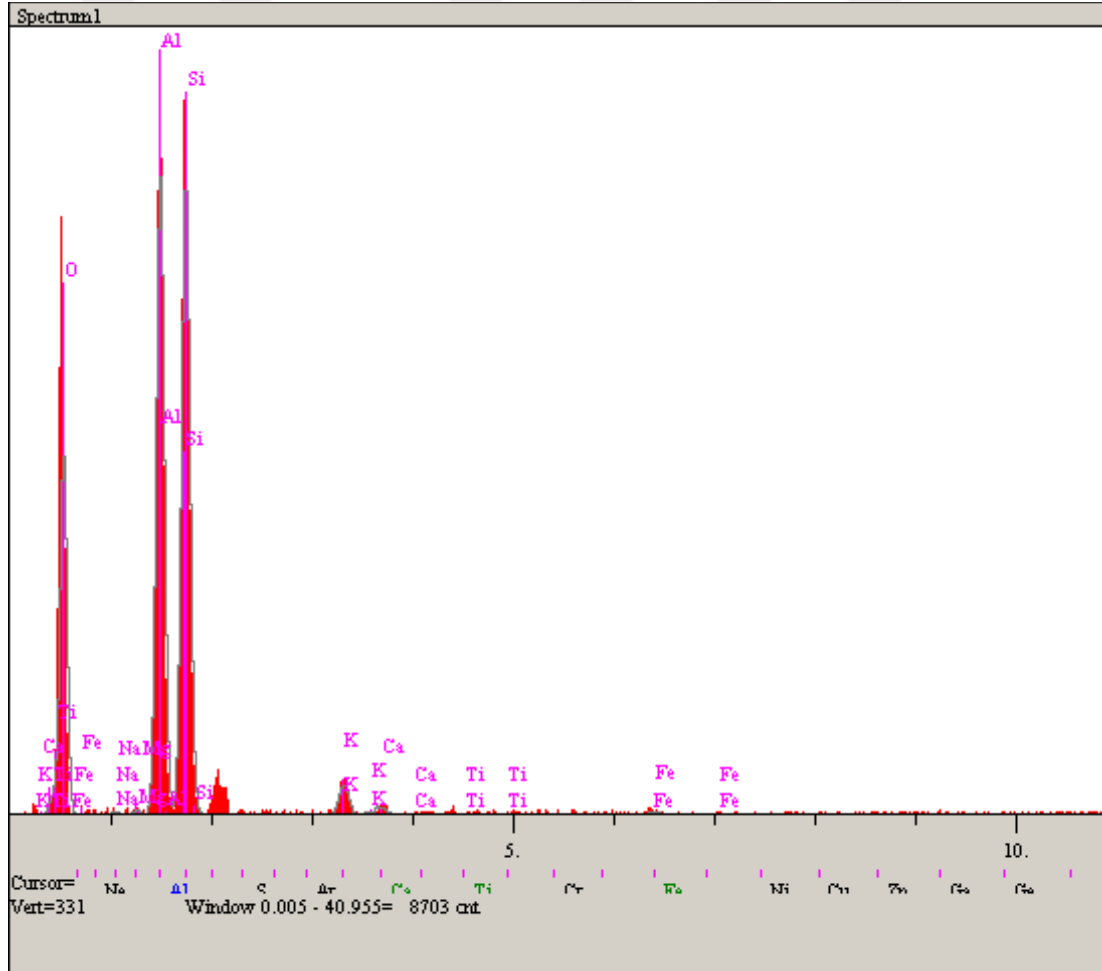


(b)



(c)

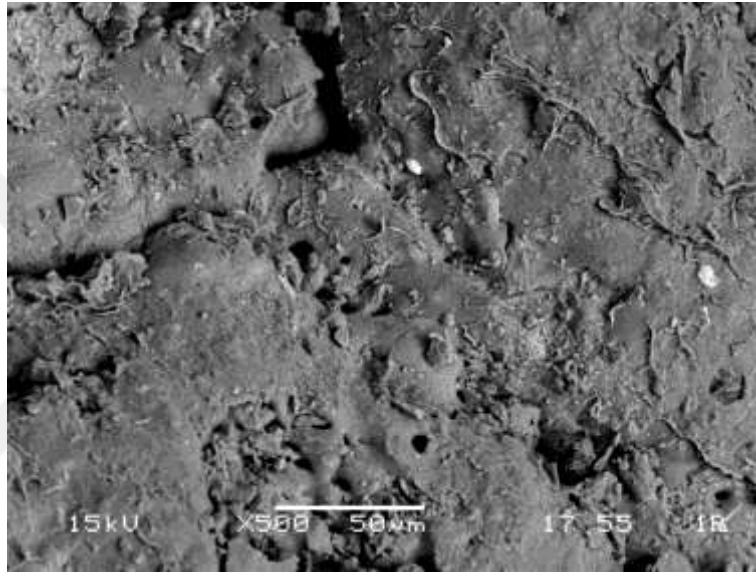
Şekil 5.34. (Devam) Deney 1'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi



Şekil 5.35. Deney 1'e ait numunelerin EDS Analizi

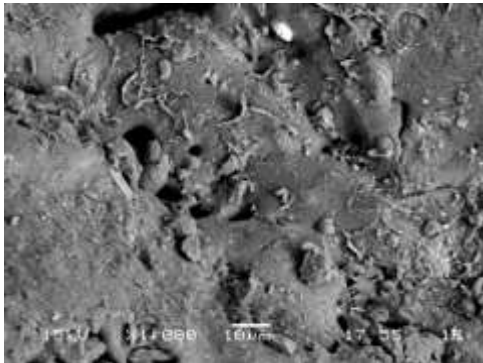
Tablo 5.36. Deney 1'e ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	129.68	7.200	37.991	wt.%
Na	Ka	1.24	0.704	0.157	wt.%
Mg	Ka	1.77	0.840	0.173	wt.%
Al	Ka	267.94	10.349	25.266	wt.%
Si	Ka	278.84	10.557	32.500	wt.%
K	Ka	15.35	2.477	2.259	wt.%
Ca	Ka	4.12	1.284	0.638	wt.%
Ti	Ka	0.89	0.597	0.181	wt.%
Fe	Ka	2.21	0.941	0.834	wt.%
Total				100.000	wt.%

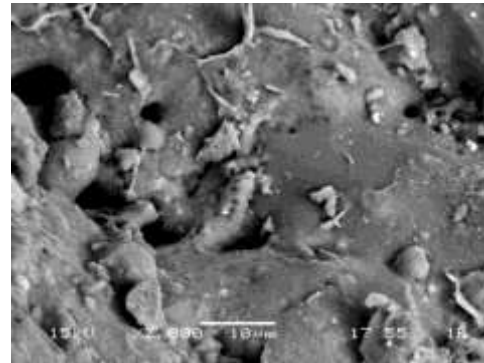


(a)

Şekil 5.36. Deney 2'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

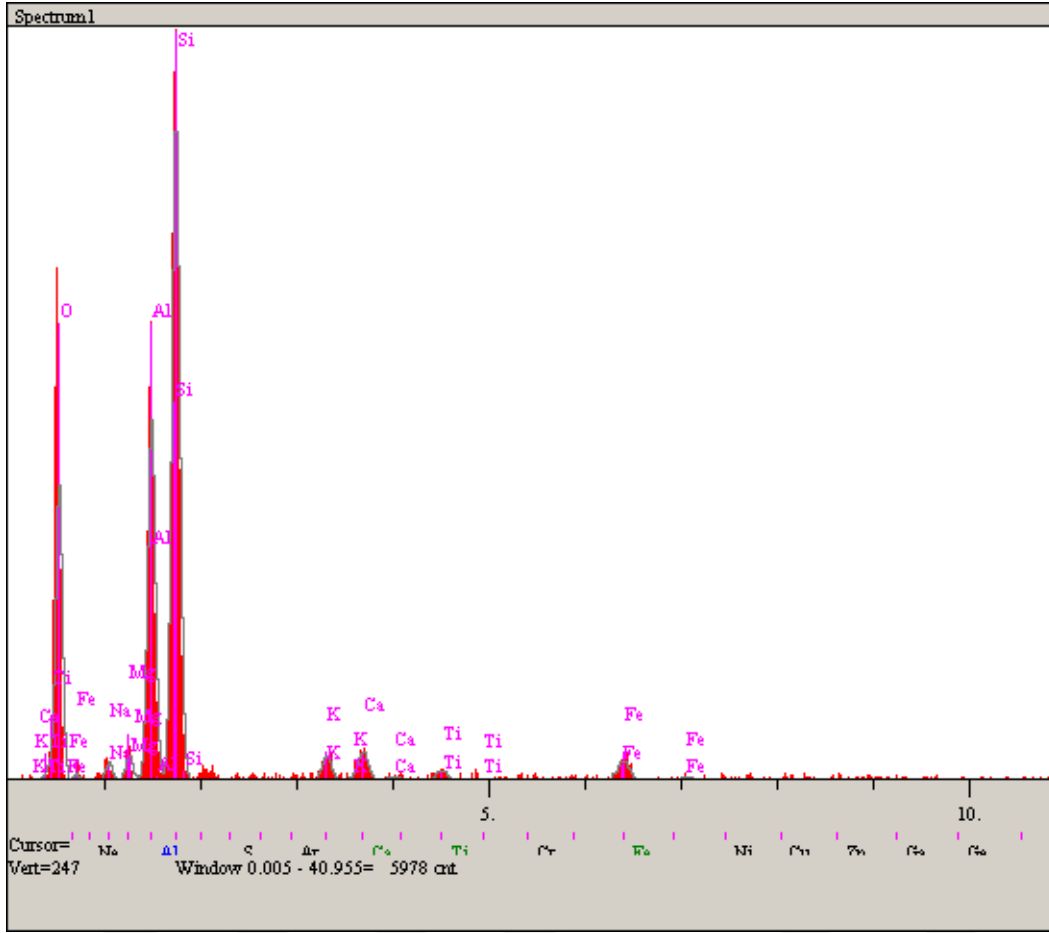


(b)



(c)

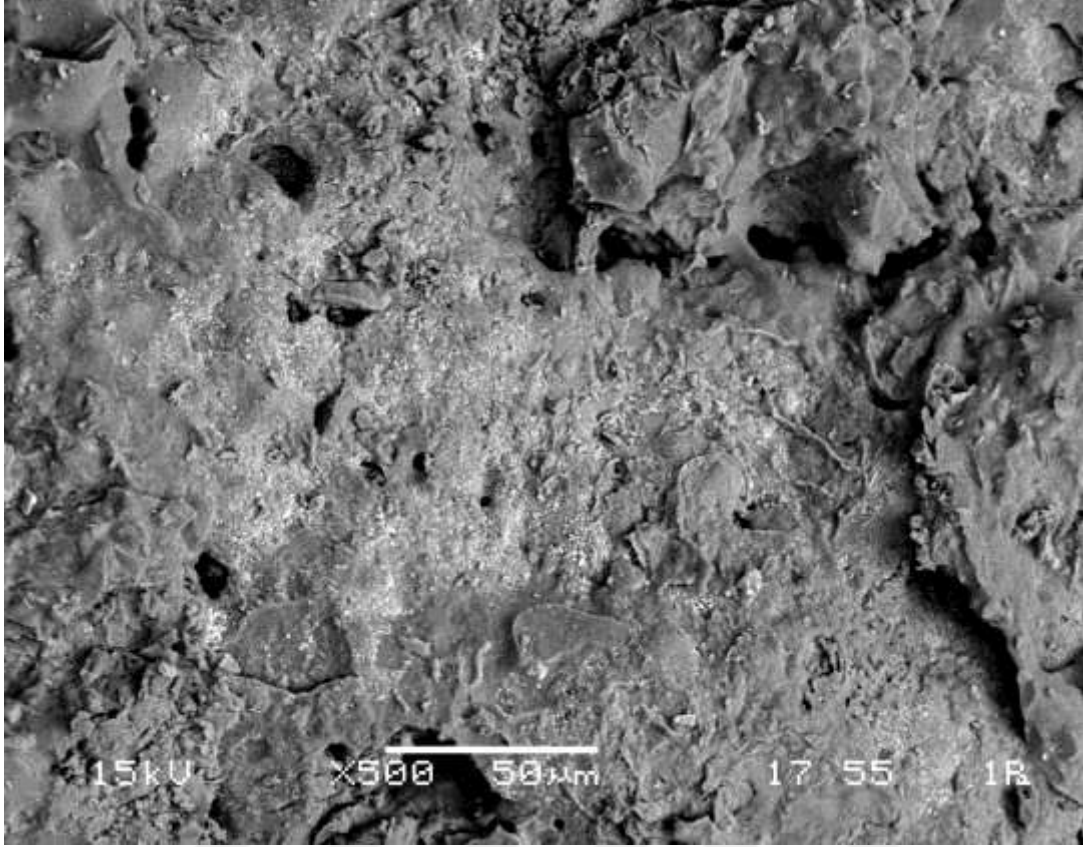
Şekil 5.36. (Devam) Deney 2'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.37. Deney 2'ye ait numunelerin EDS Analizi

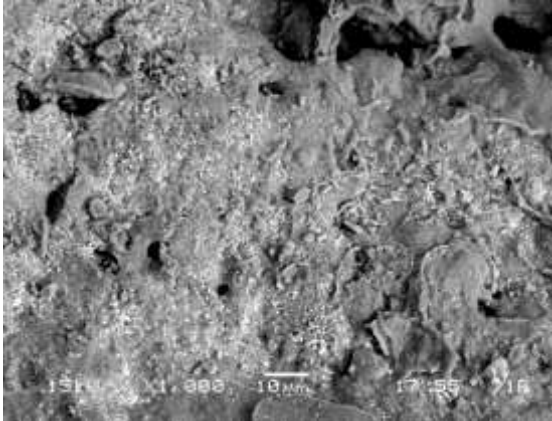
Tablo 5.37. Deney 2'ye ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	83.19	5.767	35.832	wt.%
Na	Ka	5.20	1.442	0.979	wt.%
Mg	Ka	7.54	1.736	1.099	wt.%
Al	Ka	117.98	6.868	16.281	wt.%
Si	Ka	226.12	9.508	34.837	wt.%
K	Ka	9.77	1.976	1.966	wt.%
Ca	Ka	12.01	2.192	2.546	wt.%
Ti	Ka	4.52	1.345	1.263	wt.%
Fe	Ka	9.99	1.999	5.196	wt.%
Total				100.000	wt.%

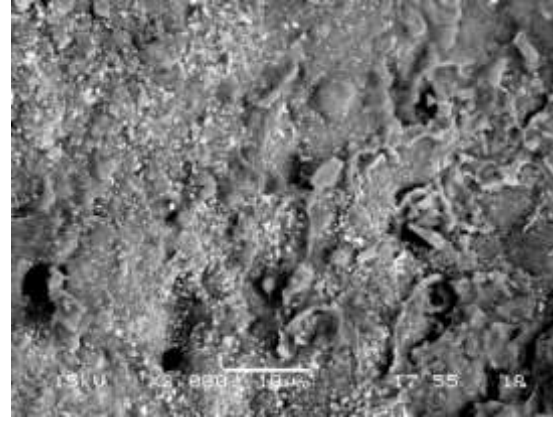


(a)

Şekil 5.38. Deney 3'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

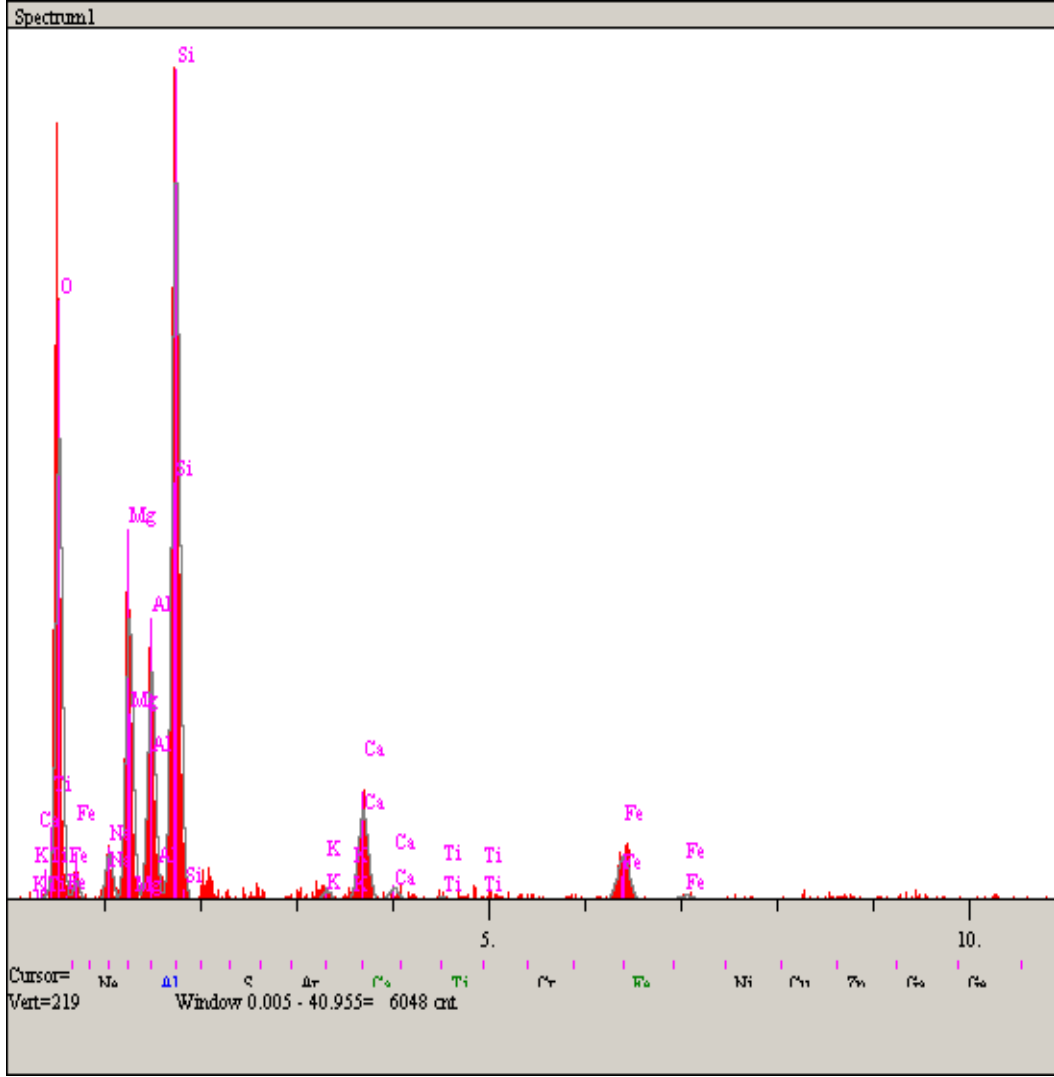


(b)



(c)

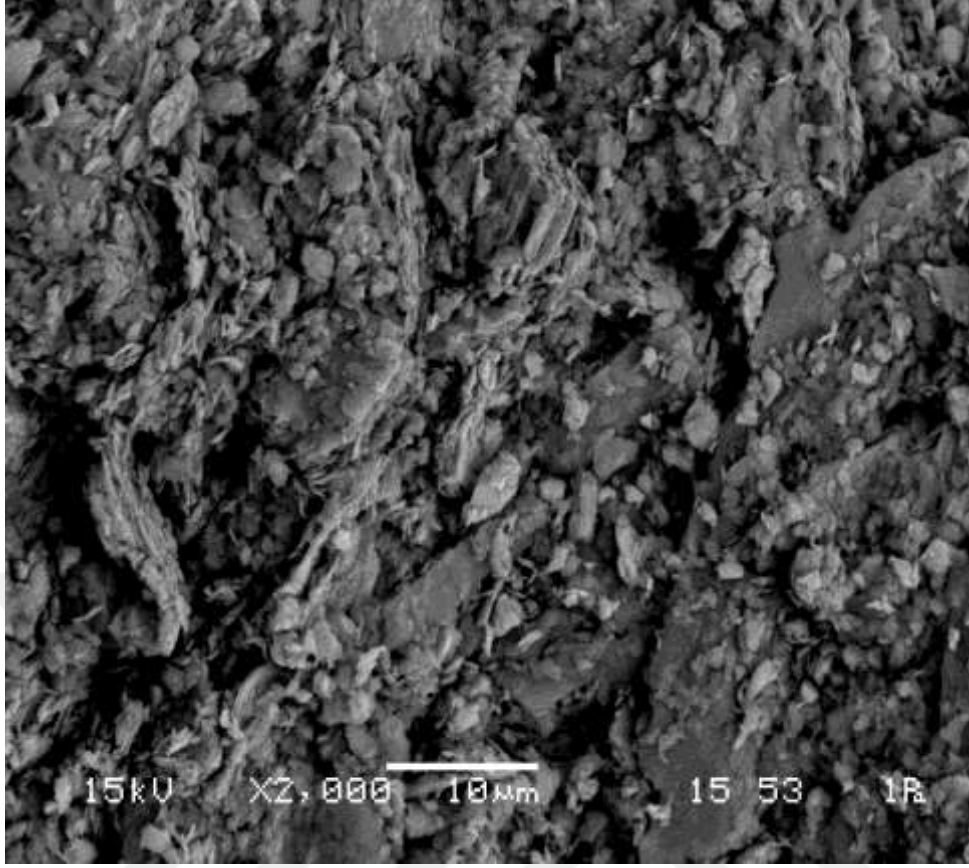
Şekil 5.38. (Devam) Deney 3'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.39. Deney 3'e ait numunelerin EDS Analizi

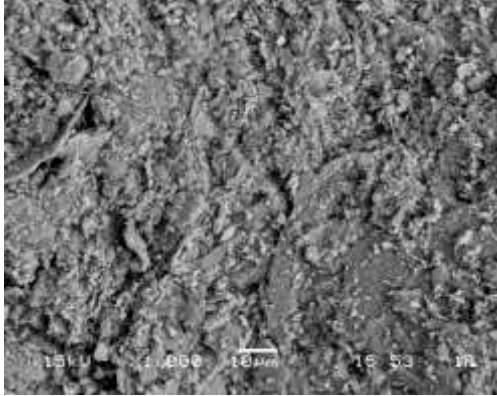
Tablo 5.38. Deney 3'e ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	99.63	6.310	37.700	wt. %
Na	Ka	10.56	2.054	1.942	wt. %
Mg	Ka	69.28	5.262	9.880	wt. %
Al	Ka	57.01	4.773	8.310	wt. %
Si	Ka	191.05	8.738	27.661	wt. %
K	Ka	2.83	1.064	0.517	wt. %
Ca	Ka	28.46	3.373	5.487	wt. %
Ti	Ka	1.27	0.711	0.324	wt. %
Fe	Ka	17.06	2.611	8.179	wt. %
Total				100.000	wt. %

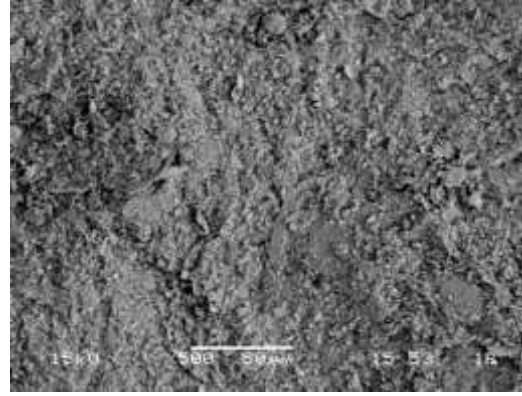


(a)

Şekil 5.40. Deney 4'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

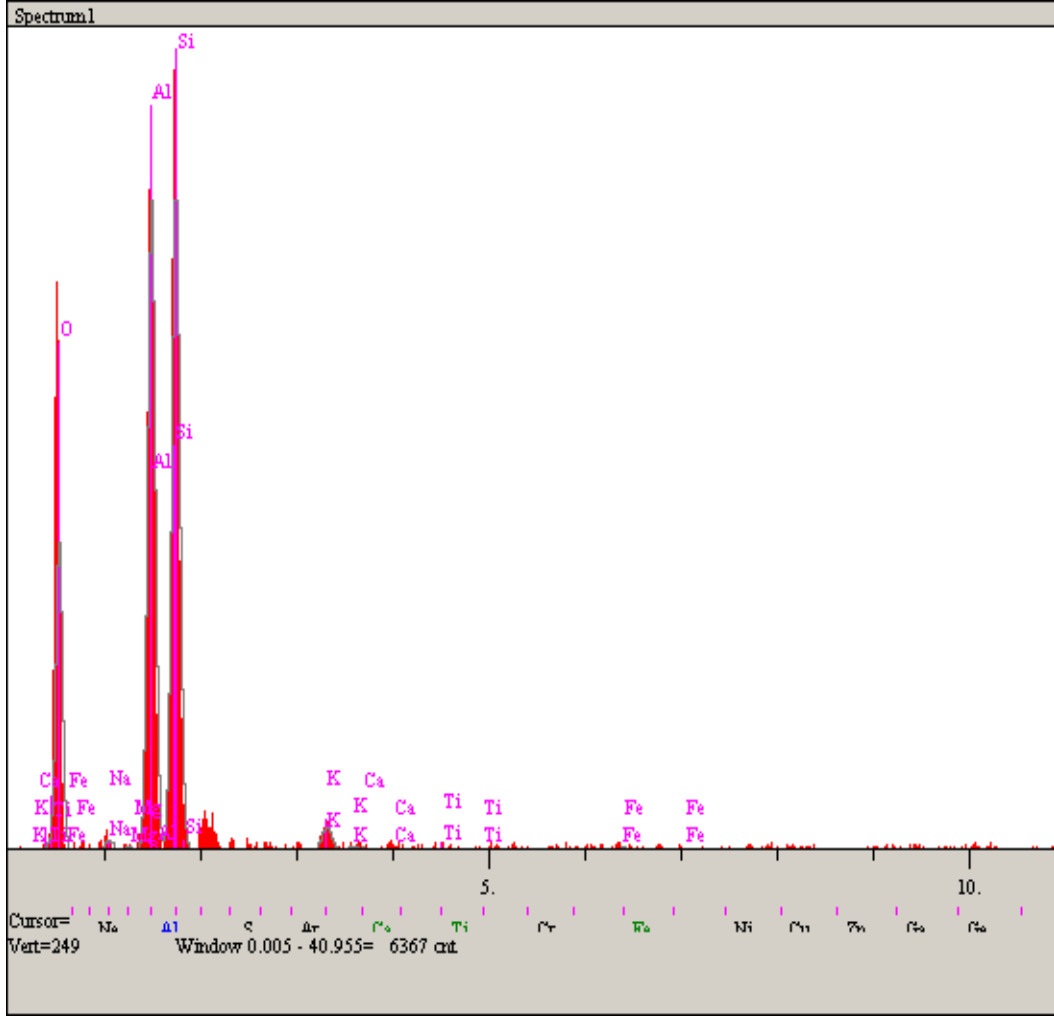


(b)



(c)

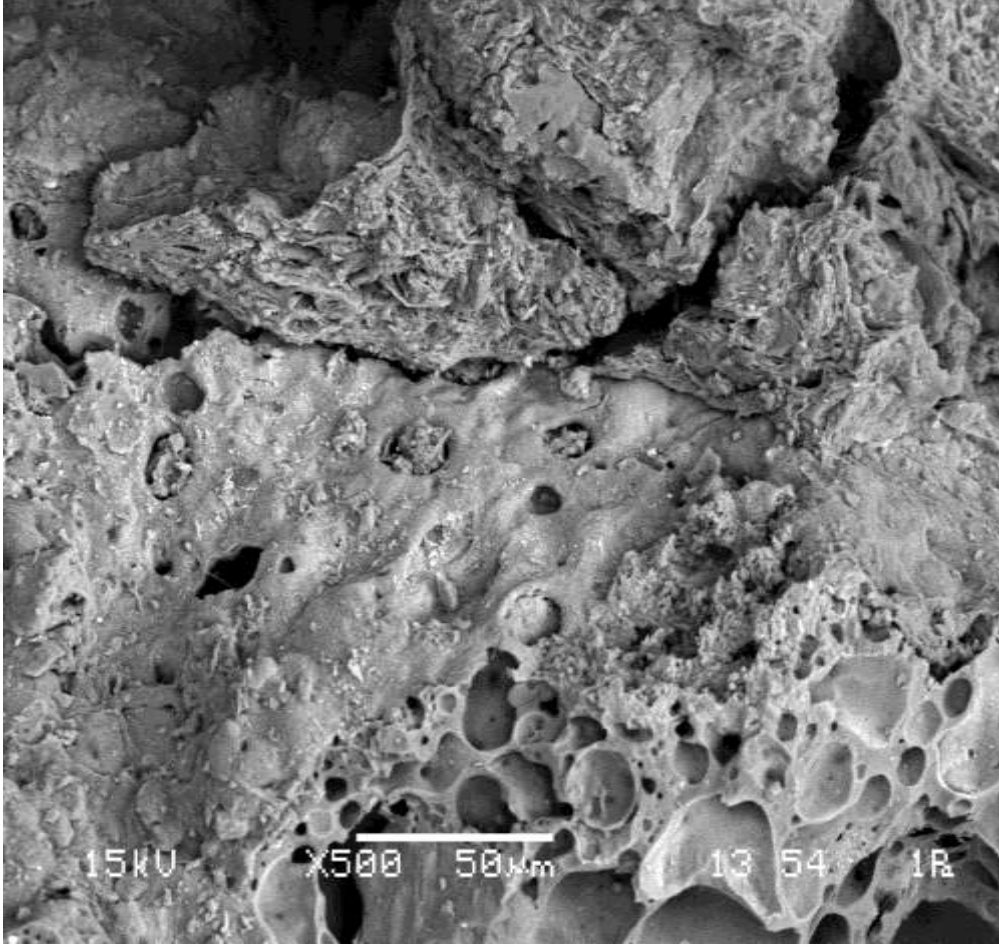
Şekil 5.40. (Devam) Deney 4'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.41. Deney 4'e ait numunelerin EDS Analizi

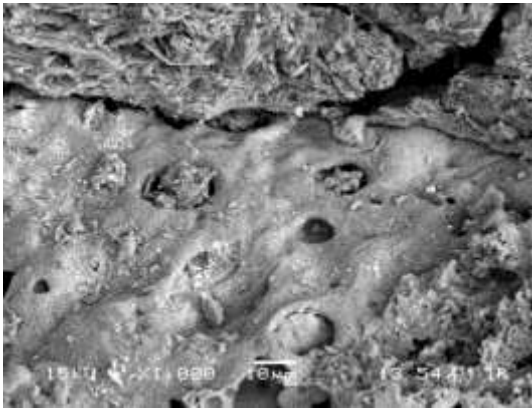
Tablo 5.39. Deney 4'e ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	80.39	5.669	34.598	wt.%
Na	Ka	2.90	1.077	0.514	wt.%
Mg	Ka	0.98	0.626	0.137	wt.%
Al	Ka	196.32	8.859	26.408	wt.%
Si	Ka	209.19	9.145	35.365	wt.%
K	Ka	8.93	1.889	1.915	wt.%
Ca	Ka	0.99	0.629	0.222	wt.%
Ti	Ka	0.46	0.428	0.135	wt.%
Fe	Ka	1.29	0.719	0.705	wt.%
Total				100.000	wt.%

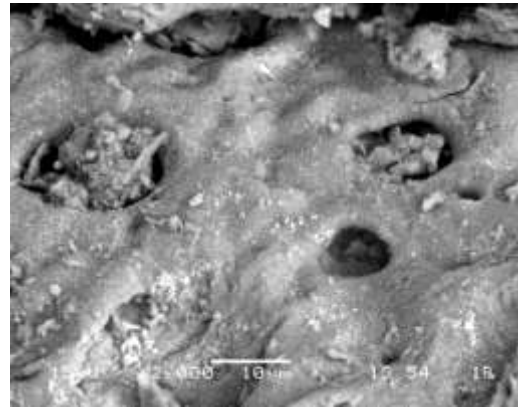


(a)

Şekil 5.42. Deney 5'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

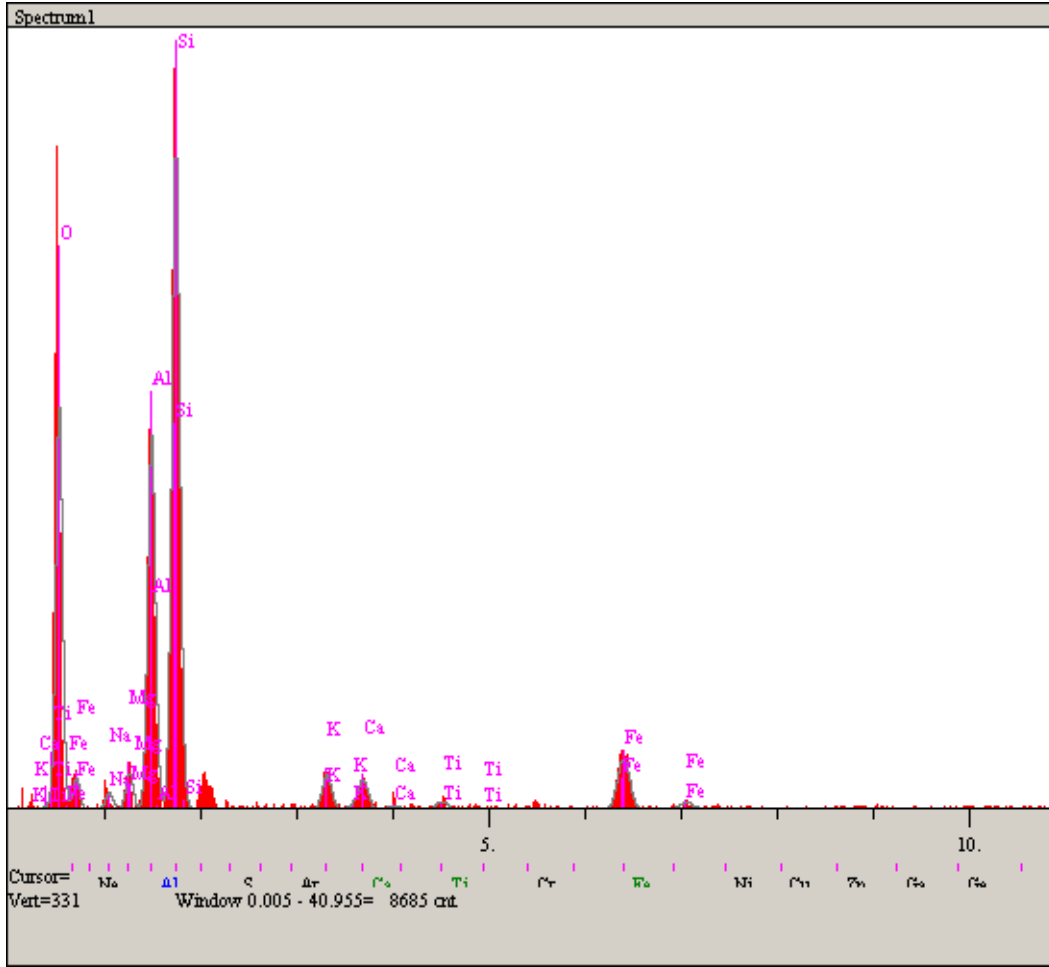


(b)



(c)

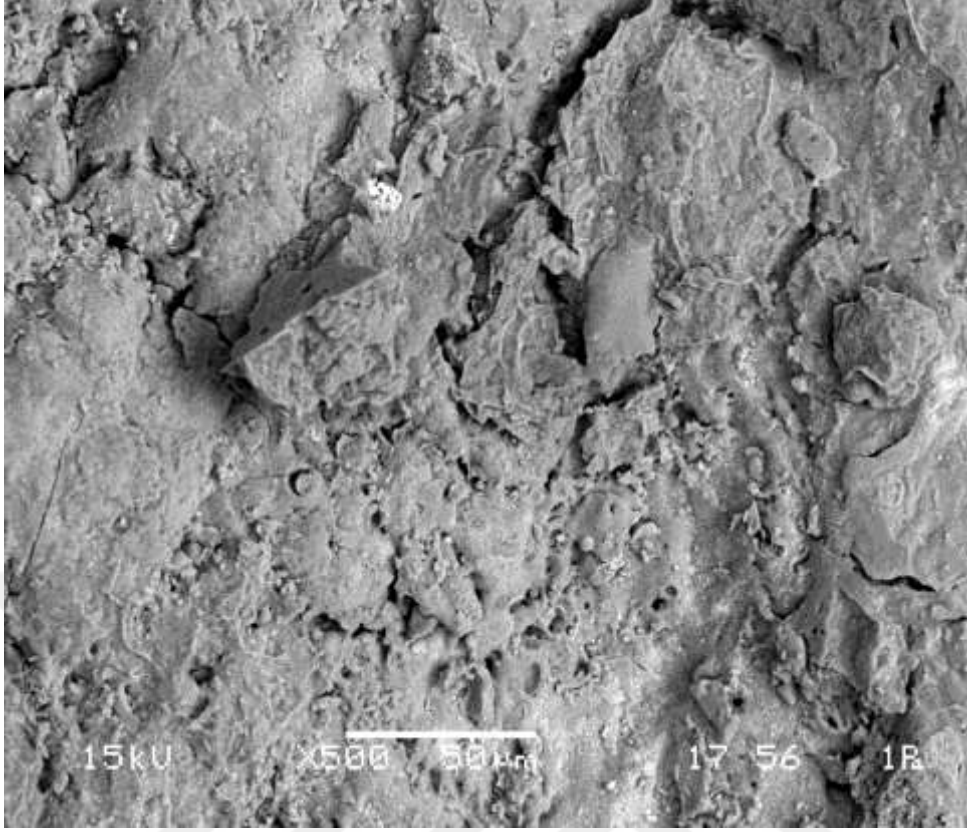
Şekil 5.42. (Devam)Deney 5'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.43. Deney 5'e ait numunelerin EDS Analizi

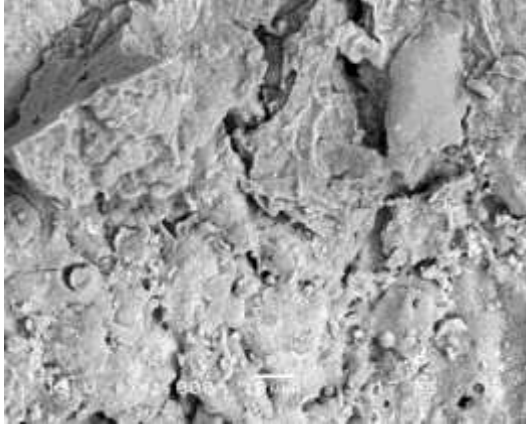
Tablo 5.40. Deney 5'e ait numunelerin EDS Analizi

Eleme	Hat	Yoğunlu	Hata	Etki	Birim
O	Ka	147.16	7.672	37.250	wt.%
Na	Ka	6.72	1.640	0.881	wt.%
Mg	Ka	14.52	2.410	1.443	wt.%
Al	Ka	158.43	7.960	14.717	wt.%
Si	Ka	293.37	10.832	29.354	wt.%
K	Ka	17.58	2.652	2.226	wt.%
Ca	Ka	15.26	2.470	2.037	wt.%
Ti	Ka	4.72	1.374	0.826	wt.%
Fe	Ka	34.21	3.699	11.265	wt.%
			Total	100.000	wt.%

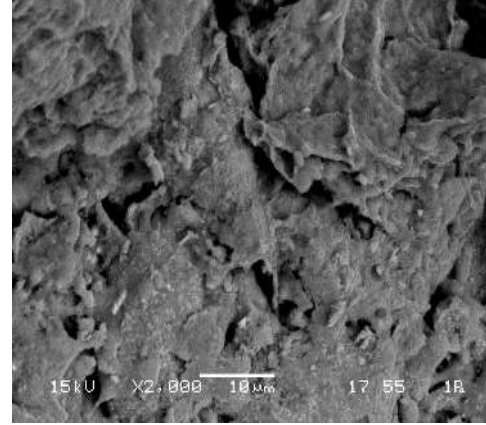


(a)

Şekil 5.44. Deney 6'ya ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

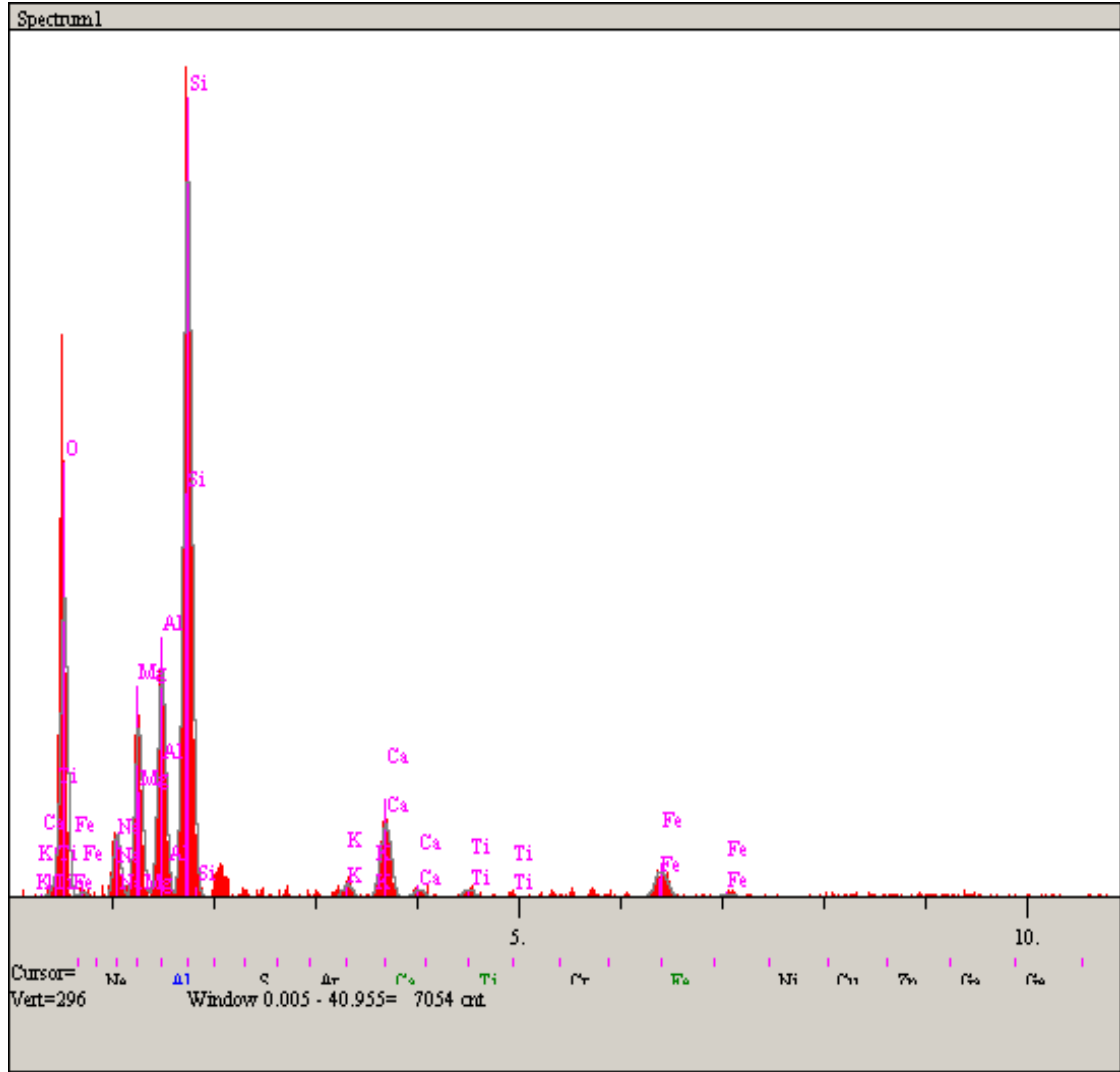


(b)



(c)

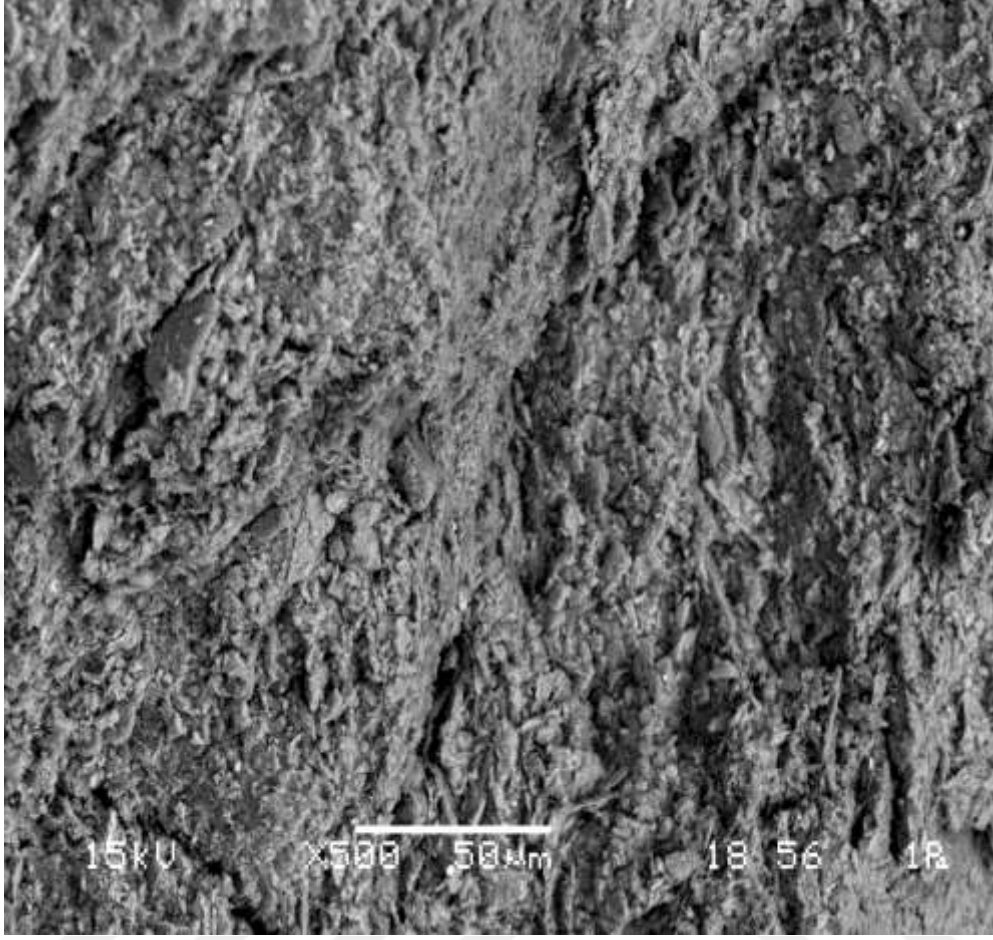
Şekil 5.44. (Devam) Deney 6'ya ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.45. Deney 6'ya ait numunelerin EDS Analizi

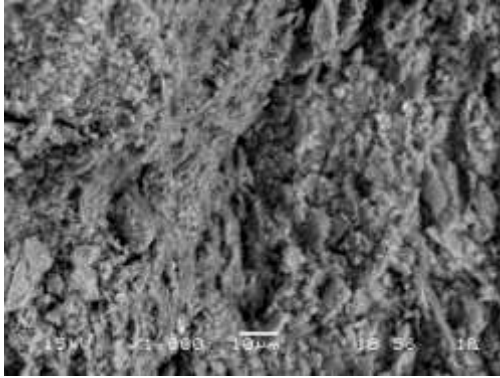
Tablo 5.41. Deney 6'ya ait numunelerin EDS Analizi

Eleme	Hat	Yoğunlu	Hata	Etki	Birim
O	Ka	88.08	5.934	32.867	wt.%
Na	Ka	20.19	2.841	3.184	wt.%
Mg	Ka	56.50	4.752	7.094	wt.%
Al	Ka	78.04	5.586	9.794	wt.%
Si	Ka	259.56	10.186	33.331	wt.%
K	Ka	5.73	1.513	0.953	wt.%
Ca	Ka	32.06	3.580	5.629	wt.%
Ti	Ka	3.84	1.240	0.897	wt.%
Fe	Ka	14.42	2.401	6.251	wt.%
			Total	100.000	wt.%

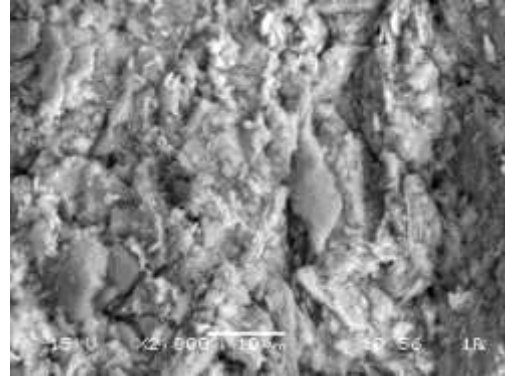


(a)

Şekil 5.46. Deney 7'ye ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

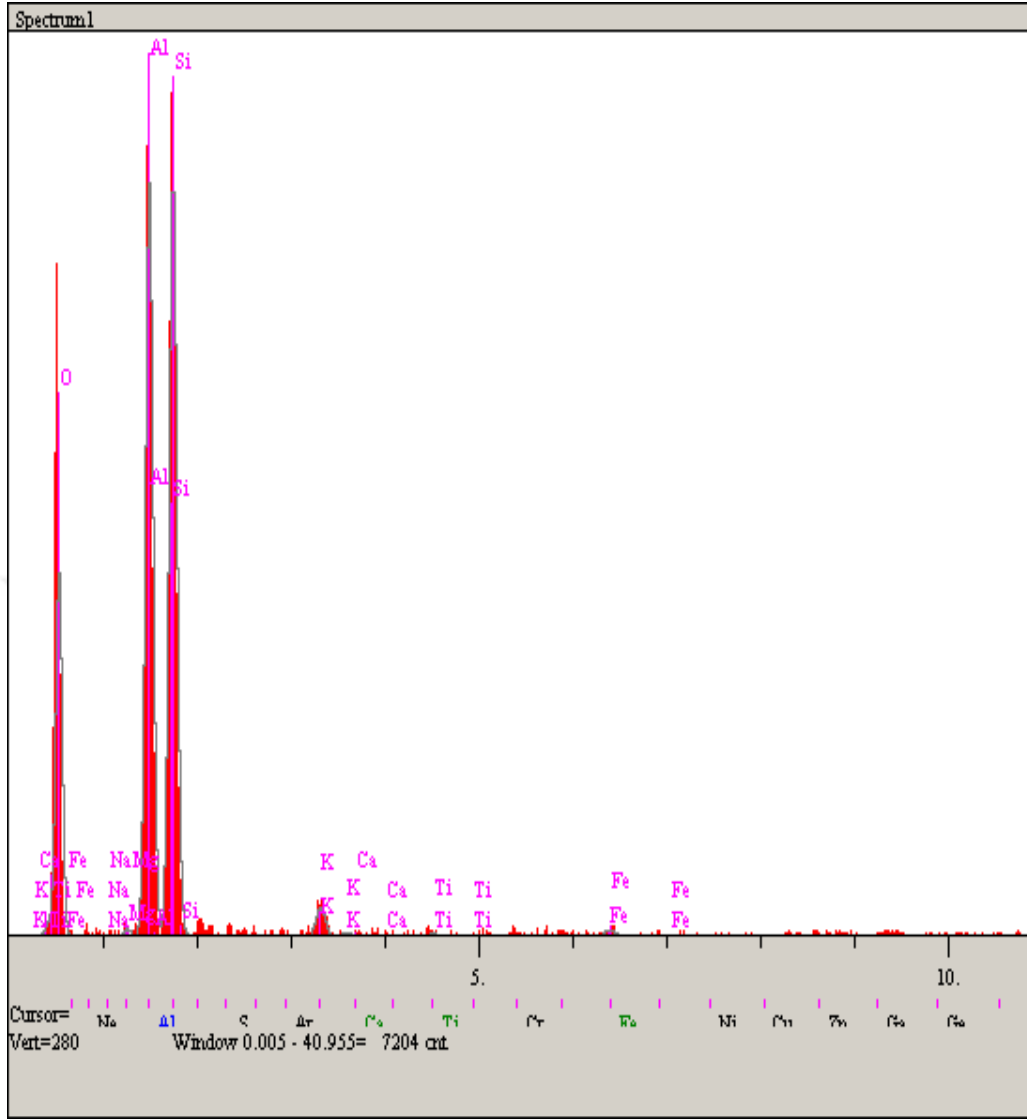


(b)



(c)

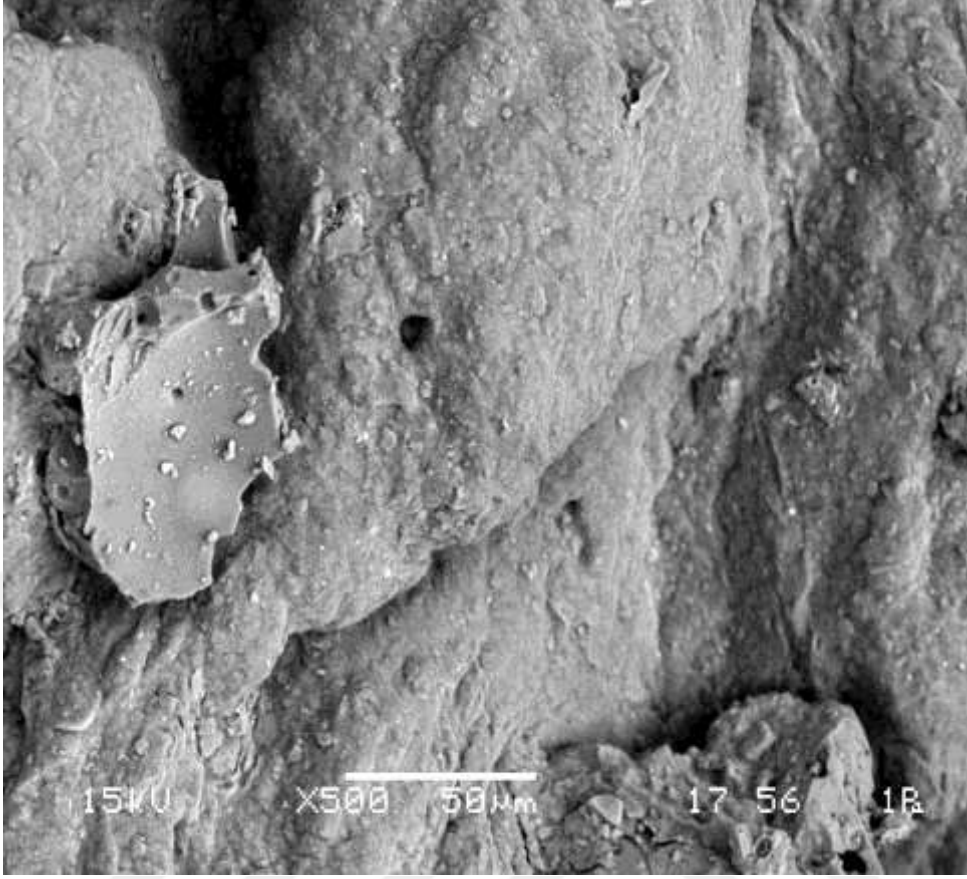
Şekil 5.46. (Devam) Deney 7'ye ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.47. Deney 7'ye ait numunelerin EDS Analizi

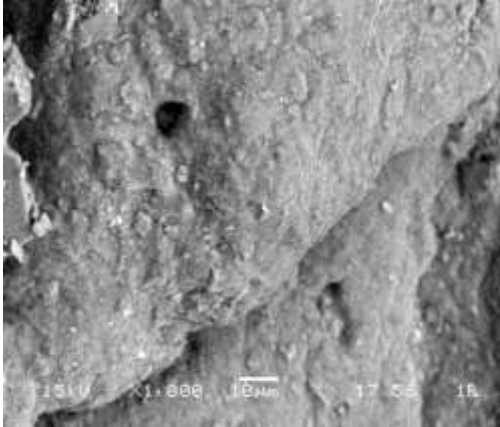
Tablo 5.42. Deney 7'ye ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	96.43	6.208	34.796	wt. %
Na	Ka	0.30	0.346	0.045	wt. %
Mg	Ka	2.22	0.942	0.261	wt. %
Al	Ka	232.13	9.632	26.335	wt. %
Si	Ka	245.05	9.896	34.845	wt. %
K	Ka	10.92	2.089	1.965	wt. %
Ca	Ka	0.73	0.540	0.138	wt. %
Ti	Ka	1.25	0.708	0.310	wt. %
Fe	Ka	2.85	1.068	1.306	wt. %
		Total	100.000	wt. %	

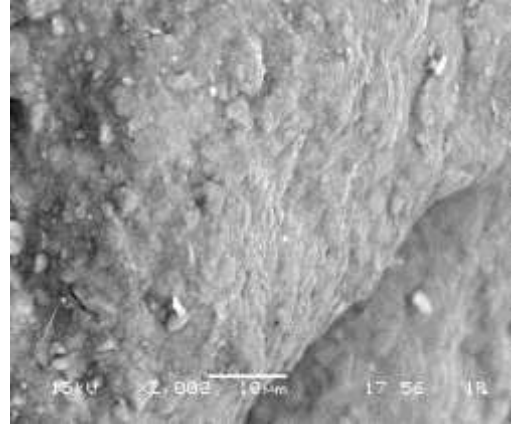


(a)

Şekil 5.48. Deney 8'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

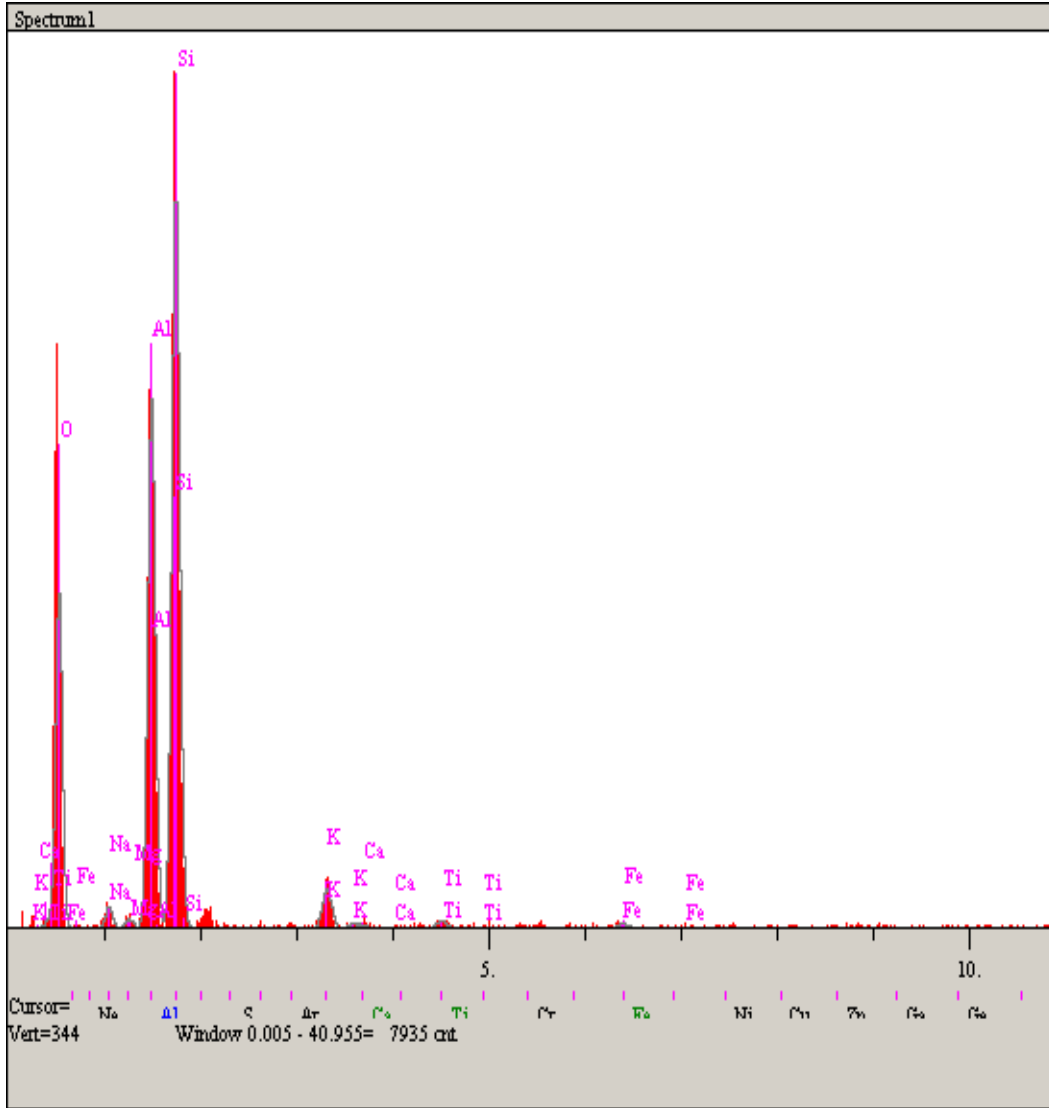


(b)



(c)

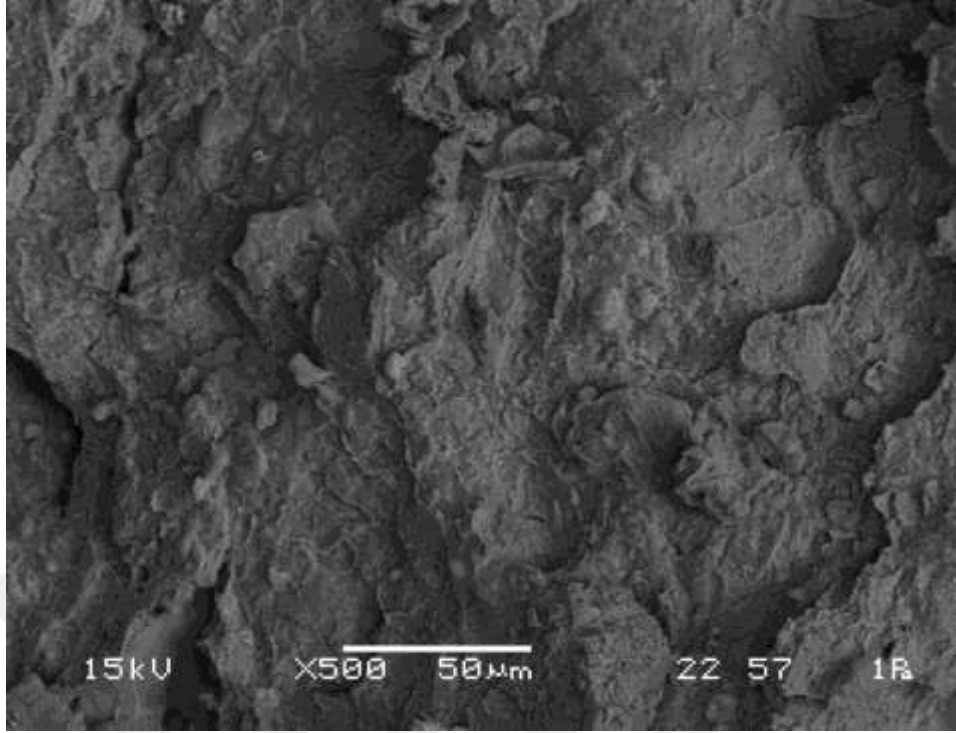
Şekil 5.48. (Devam) Deney 8'e ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.49. Deney 8'e ait numunelerin EDS Analizi

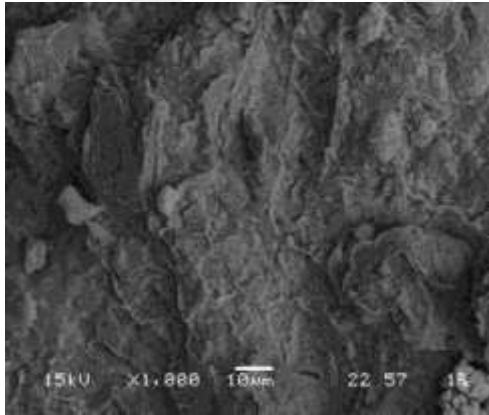
Tablo 5.43. Deney 8'e ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	110.72	6.655	36.355	wt.%
Na	Ka	7.81	1.768	1.065	wt.%
Mg	Ka	4.17	1.291	0.447	wt.%
Al	Ka	203.39	9.020	20.862	wt.%
Si	Ka	296.46	10.889	36.032	wt.%
K	Ka	18.75	2.738	2.972	wt.%
Ca	Ka	1.62	0.805	0.270	wt.%
Ti	Ka	4.07	1.276	0.891	wt.%
Fe	Ka	2.72	1.044	1.106	wt.%
			Total	100.000	wt.%

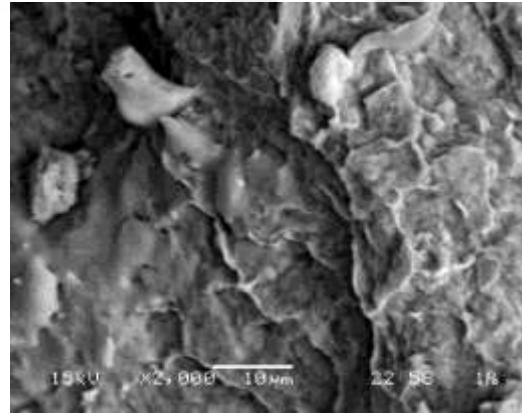


(a)

Şekil 5.50. Deney 9'a ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme

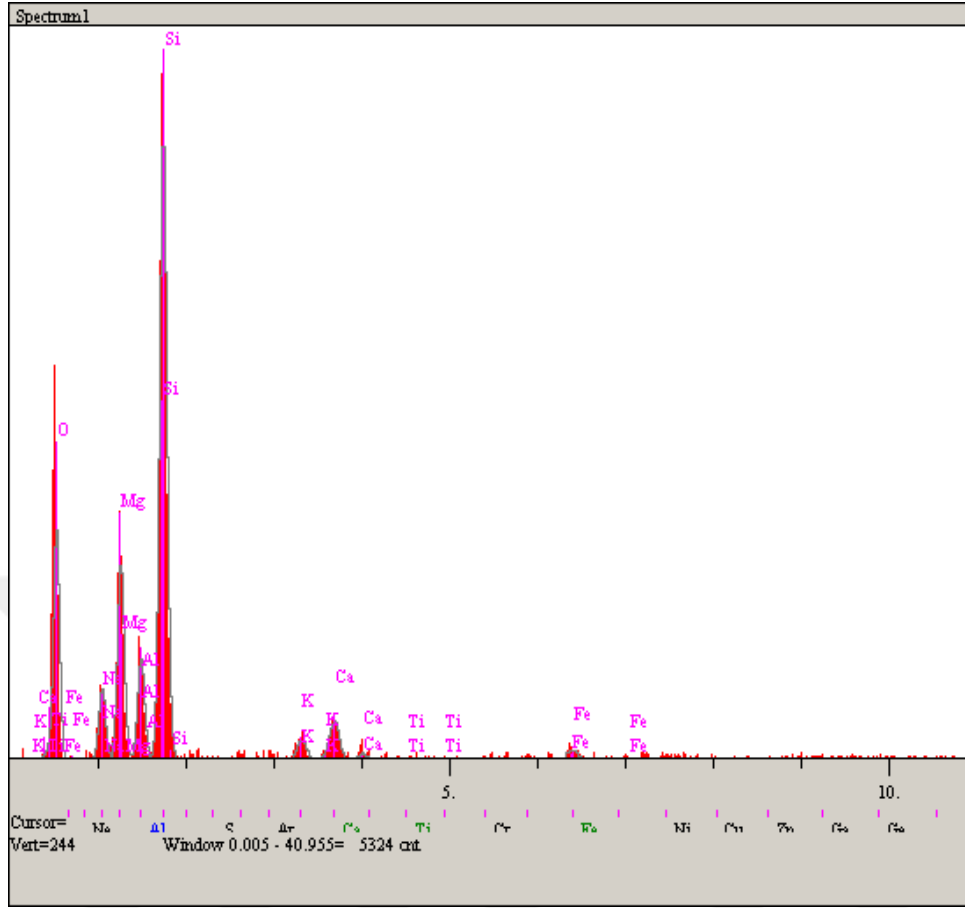


(b)



(c)

Şekil 5.50. (Devam) Deney 9'a ait numunelerin içyapısının taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi (a) 500 kat büyütme (b) 1000 kat büyütme (c) 2000 kat büyütme



Şekil 5.51. Deney 9'a ait numunelerin EDS Analizi

Tablo 5.44. Deney 9'a ait numunelerin EDS Analizi

Element	Hat	Yoğunluk	Hata	Etki	Birim
O	Ka	65.67	5.125	33.081	wt.%
Na	Ka	22.52	3.001	4.556	wt.%
Mg	Ka	63.52	5.040	10.604	wt.%
Al	Ka	33.63	3.668	5.872	wt.%
Si	Ka	216.74	9.310	37.315	wt.%
K	Ka	8.29	1.821	1.916	wt.%
Ca	Ka	16.43	2.563	4.009	wt.%
Ti	Ka	0.53	0.459	0.170	wt.%
Fe	Ka	4.15	1.288	2.478	wt.%
			Total	100.000	wt.%

Yapılan görüntülemeleri yorumlarsak basınç deney sonuçları en iyi gelen makarna kilin (MK) bağlayıcı olarak kullanıldığı 2 ve 8 numaralı numunelerin içyapısı daha yoğun, daha kompakt gözükmetedir. En düşük basınç dayanımı değeri veren numunelerden olan Ukrayna toprak kilinin kullanıldığı 3 ve 9 numaralı numunelerin içyapısı daha boşluklu gözükmetedir.

5.12. Taguchi Metoduna Göre Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneylerin karışım oranları ve parametreleri Taguchi Metoduna göre değerlendirilmiş, hesaplanmış ve uygulanmıştır. Üçer farklı kil tipi, sıcaklık, su/bağlayıcı oranı ve genişleştirilmiş kil/ genişleştirilmiş perlit yüzdesi kullanılarak 4 farklı parametreye göre toplam 9 deney dökümü yapılmış ve bu deneylerin sonucu kaydedilmiştir.

Taguchi metodu bizlerin az sayıda numune dökümü yaparak en iyi sonuç veren optimum numuneyi saptamamızı sağlamaktadır. Optimum numuneyi saptarken elde edilen basınç, kuru birim ağırlık, su emme, kılcallık ve yalıtım deney sonuçlarına önem derecelerine göre farklı katsayılar verilmiş ve gerekli formülasyonlar yapılmıştır. Her deney için signal/görüntü (S/G) oranları hesaplanarak önem derecesi belirlenmiştir. Buna göre A1B2C3D2 numunesi optimum numune olarak belirlenmiş ve dökümü yapıp, aynı deneyler uygulanmıştır.

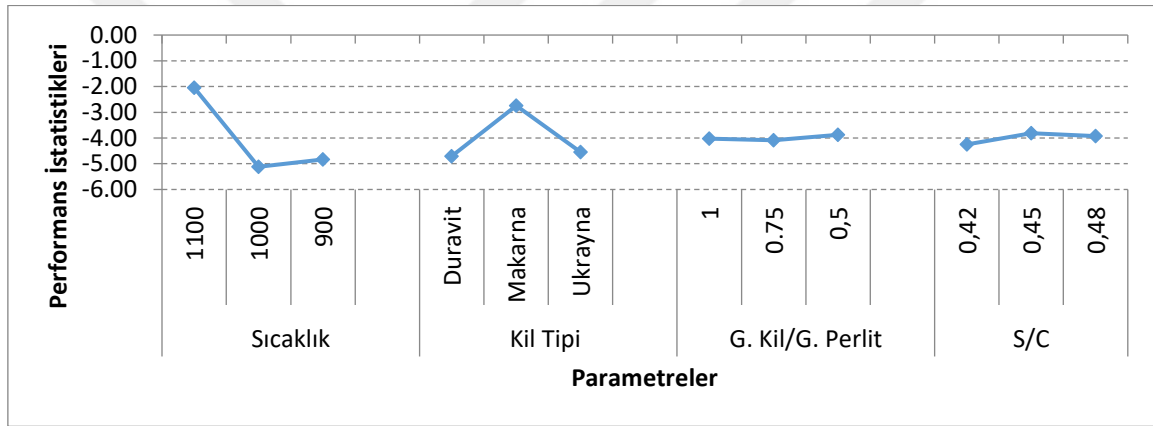
Optimum hesaplama sonuçlarına baktığımızda bu deney kombinasyonları için en iyi sonucu verecek olan A1B2C3D2 numunesinin 1100 °C’de pişirilen, bağlayıcı olarak normal makarna kil kullanılan, 0,45 oranında bağlayıcı kullanılan ve genişleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranı 0,50 olan numune olacağı tespit edilmiş ve bu deney kombinasyonları ile bir optimum numune hazırlanarak deney sonuçları kaydedilmiştir. Optimum numunenin ortalama S/G değeri Tablo 5.45.’de, yapılan deney sonuçları Tablo 5.46.’da gösterilmiştir. Optimum numune için performans istatistik değerleri ise Şekil 5.52.’de gösterilmiştir.

Tablo 5.45. Optimum numunenin S/G değerleri

Numune Adı	Ortalama S/G
1	-3.037
2	-0.702
3	-2.397
4	-5.845
5	-3.999
6	-5.512
7	-5.237
8	-3.532
9	-5.73

Tablo 5.46. Taguchi optimum numune deney sonuçları

Taguchi Sonuçları	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
Basınç (MPa)	4,40	3,50	3,92	3,94
Kuru birim ağılık (gr/cm3)	0,47	0,45	0,46	0,46
Su Emme(%)	10,30	16,4	16,60	14,43
Kılcallık Katsayısı (g/cm2.dk)	0,505	1,37	0,305	0,72
Isıl İletkenlik	0,132	0,132	0,132	0,132



Şekil 5.52. Optimum numune için performans istatistik değerleri

Tablo 5.47. Optimum numunenin Anova analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Etki	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Sıcaklık	2	17,2981	69,73%	8,64903	*	*
Kil Tipi	2	7,1222	28,71%	3,56112	*	*
G.Kil/G.Perlit	2	0,0727	0,29%	0,03633	*	*
Su/Katı	2	0,3131	1,26%	0,15653	*	*
Hata	0	*	*	*		
Toplam	8	24,8060	100,00%			

Optimum numunenin Anova analizi sonuçları Tablo 5.47.'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm deneyler için en çok etki eden faktör %69,73 ile sıcaklık faktörü olarak gözükmemektedir. Sonrasında 28,71 ile kil tipi tüm deneyleri etkileyen 2. Sıradaki faktörümüzdür. Su/katı oranı ile geliştirilmiş kil/perlit oranı faktörlerinin etkisinin

oldukça düşük olduğu gör÷lmektedir. Su/katı oranı % 1,26 gibi düşük bir oranda etkilerken, genleştirilmiş kil/perlit oranının etkisi %0,29 ile en düşük etki oranıdır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada hafif agrega ve kil bağlayıcı kullanılarak yalıtkan bir kompozit üretilmiş olup, Taguchi methodu kullanılarak 4 farklı parametre ile 9 tip numune üretilmiştir. Kullanılan parametreler sıcaklık, bağlayıcı kil tipi, genleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranı ve su/katı oranıdır.

Deney sonuçlarına göre aşağıdaki bulgular tespit edilmiştir.

Numune 1, bağlayıcı olarak Duravit makarna kil kullanılan ve 1100 °C’de pişirilen bir numunedir. Yüksek sıcaklıkta pişirilmesine rağmen, kullanılan bağlayıcı tipi basınç dayanımında 3. sırada yer almasına neden olmuştur.

Numune 2, bağlayıcı olarak Makarna kil kullanılan ve 1100 °C’de pişirilen bir numunedir. En yüksek basınç dayanımını veren numune olup, bu yüksek dayanımın sebebi yüksek sıcaklıkta pişmesine ek olarak, bağlayıcı tipinin Makarna kil olması, genleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranının 0,75 olmasına bağlanabilir. Basınç dayanımı değeri 2,93 MPa bulunmuştur. Dayanımı yüksek bir hafif agrega olan genleştirilmiş kilin içerisine dörtte bir oranında genleştirilmiş perlit eklendiğinde, numune pişirildikten sonra genleştirilmiş perlitlerin genleştirilmiş kilin arasındaki boşlukları doldurmaya katkı sağlaması dayanım sonucunun bu şekilde bulunmasına etki etmiştir.

Numune 3, Ukrayna toprak kili bağlayıcı olarak kullanılıp, numunenin 900°C’de pişirilmesiyle üretilmiştir. Kılcallık deney sonucuna göre, 3 numaralı numunenin kılcallığının en az olduğunu görülmüştür. Bağlayıcı olarak sert yapıdaki bir kilin kullanılmasını kılcallığı olumlu etkilemiştir. Ayrıca 0,16 W/m.K ile en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip numune olduğu tespit edilmiştir.

Numune 4, Duravit makarna kil bağlayıcı olarak kullanılıp, 1000 °C’de pişirilerek elde edilmiştir. Kuru birim ağırlık ve su emme deney sonucuna bakacak olursak, kuru birim ağırlığı 0,55 gr/cm³ ile en yüksek olan 4 numaralı numune aynı zamanda %14,63 ile en düşük su emme kapasitesine sahiptir. Ayrıca bu numunenin kılcallıktan en fazla etkilenen numune olduğunu gözlemlemekteyiz.

Numune 5, Makarna kil bağlayıcı olarak kullanıp, 1000 °C’de pişirilerek elde edilmiştir. İçerisinde makarna kil bulunması basınç dayanımını olumlu olarak etkilemiştir, fakat dayanımı 2 ve 8 numaranın önüne geçememiştir.

Numune 6, Ukrayna toprak kilin bağlayıcı olarak kullanıldığı ve 1000 °C’de pişirilmesiyle elde edilen bir numunedir. Ukrayna toprak kilinin sert yapısı kılcallık deneyi sonuçlarını olumlu etkilemiştir.

Numune 7, Duravit makarna kil bağlayıcı olarak kullanılıp, 900 °C’de pişirilerek elde edilmiştir. Kuru birim ağırlığı 0,41 gr/cm³ ile en düşük olan 7 numaralı numune aynı zamanda %40,42 ile en yüksek su emme kapasitesine sahiptir. Basınç dayanımı istenilen sonuçları veremeyip yetersiz kalmıştır.

Numune 8, Makarna kil bağlayıcı olarak kullanılıp, 900°C’de pişirilerek elde edilmiştir. 2,06 MPa ile en iyi ikinci dayanımı veren numune olmuştur. Bu da daha düşük sıcaklıkla pişmesine rağmen bağlayıcısı Makarna kil olan bir numunenin basınç dayanımının iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Maksimum ağırlık kaybı 8. Numunede kalıptan çıktıktan sonra ile etüvden çıktıktan sonraki aşamasında gerçekleşmiştir. Bunlara ek olarak, numune 8’in basınç dayanımının deneyde kullandığımız en düşük sıcaklık değeri olan 900°C’de pişmesine rağmen diğer numunelere göre daha yüksek dayanımlı olmasının sebebi genleştirilmiş kil/genleştirilmiş perlit oranının 1 olmasıdır. Genleştirilmiş kil basınç dayanımını yükseltmiştir.

Numune 9, bağlayıcı olarak Ukrayna toprak kili ile 900 °C’de pişirilerek elde edilmiştir. Basınç dayanımı istenilen sonucu verememiştir. 0,41 MPa dayanım ile en düşük basınç dayanım sonucunu veren numune olmuştur. Daha sert yapıdaki bir bağlayıcı kullanıldığından kılcallık deney sonuçları diğer kil tipi kullanılanlara göre daha iyi gelmiştir.

Deney sonuçlarına göre etüvden çıkan numunelerin kalıptan çıkan numunelere göre, fırından çıkan numunelerin de etüvden çıkan numunelere göre daha hafif olduğu, deney esnasında ağırlık kaybı olduğu gözlemlenmektedir. Pişme sıcaklığına göre kıyaslayacak olursak, 1100 °C’de pişirilen numunelerin daha 1000°C’ye göre daha iyi dayanımı olduğunu görmekteyiz. Numune 8 haricinde 900 °C’de pişirilen numunelerin dayanımı

diğer sıcaklıklarda pişenlere göre daha düşüktür. Buradan çıkardığımız sonuca göre sıcaklık basınç dayanımına olumlu bir etki göstermektedir.

Yüksek sıcaklık sonrası boy değişimi deney sonucuna bakılacak olursa, 1100 °C’de pişirilen numunelerde, 1000 °C ve 900 °C’de pişirilen numunelere göre daha fazla büzülme olduğu, 1000°C’de pişirilen numunelerde de 900°C’de pişirilen numunelere göre daha fazla büzülme olduğu gözlemlenmektedir. Buna göre, pişirme sıcaklığının artmasının pişme boy kısılması miktarını arttırdığı söylenebilir. Ultrasonik test deney sonuçlarını yorumlayacak olursak, ürettiğimiz kompozitin ultrasonik test sonuçlarının çok zayıf sınıfında yer aldığını görmekteyiz. Etüv sonrası fırında pişirilen numunelerin dalga iletim hızı artsa da yine de yeterli hızı sağlayamamıştır. Fırından çıkan numunelerin piştikten sonra geçirdiği dalga hızı artmış, etüve göre daha iyi özellik göstermiştir. Yapılan Anova analizleri sonucunda tüm deneylere en çok etki eden parametrenin sıcaklık, sonrasında ise kullanılan kil tipi olduğu tespit edilmiştir. Su/katı oranı çok düşük bir etkiye sahipken, genişletilmiş kil/perlit oranının etkisi neredeyse yok denecek kadar azdır.

Hafif agrega olarak genişletilmiş kil ve genişletilmiş perlit kullanılan ve bağlayıcı olarak tamamen doğadan elde edilen bir malzeme olan kil tipleri kullanılan bu çalışmada çevre dostu, yalıtım sağlayan bir malzeme üretimi hedeflenmiştir. Bu tarz çevre dostu ürünlerin üretimi ve araştırılması gelecek için büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Aguilar-Garib, J. A., García-Onofre, V., Ortiz, U., Valdez-Nava, Z. (2013). Microwave Energy for Expanding Perlite Ore. *Journal of Applied Research and Technology*, 11, 823-830.
- Alduaij, J., Alshaleh, K., Haque, N., Ellaithy, K. (1999). Lightweight Concrete in Hot Coastal Areas. *Cement and Concrete Research*, 21:453-458.
- Al-Homoud, Mohammad S.(2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* 40(3): 353-366.
- American Society for Testing and Materials (2005). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars* (ASTM C109/C109M-05). ASTM International, Pensilvanya.
- Azizi, S. (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Doktora Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 222254.
- Baba, E. (2018). Hafiflik, Ekonomiklik, Isı Yalıtımı ve Yeterli Basınç Dayanım Unsurlarını Taşıyan Kompozit Malzeme Üretimi, Kocaeli Üniversitesi, Doktora Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 522352.
- Babu, K., G., Babu, D., S., (2003). Behaviour of Lightweight Expanded Polystyrene Concrete Containing Silica Fume. *Cement and Concrete Research*, 33:755-762.
- Balo, F. (2011). Castor oil-based building materials reinforced with fly ash, clay, expanded perlite and pumice powder. *Ceramics-Silikáty*, 55(3), 280-293.
- Başgedik, G., Demirkol N., Yıldırım S. (2021). Kil Bağlayıcılı Yalıtım Özellikli Kompozit Malzeme Üretiminde Bağlayıcı Miktarı ve Sıcaklığın Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi. *V. Uluslararası Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Boya Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 13-15 Ekim 2021.
- Bouguerra, A., Ledhem, A., Barquin, F., Dheilily, R.M., Queneudec, M. (1998). Effect of Microstructure on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared from Clay, Cement, and Wood Aggregates. *Cement and Concrete Research*, 28(8):1179- 1190.
- Bremner, T., W., Holm, T., A. ve Stepanova, V., F. (1994). Lightweight Concrete – A Proven Material For Two Millennia. *Proceedings of Advances in Cement and Concrete*, 37-51.
- Can, R. (2020). Genleştirilmiş kil agregaları ile hazırlanan kompozit malzemelerin geoteknik uygulamalarda kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 643770.

- Chen, B., Liu, J. (2005). Contribution of Hybrid Fibers on the Properties of the Highstrength Lightweight Concrete Having Good Workability. *Cement and Concrete Research*, 35:913-917.
- Chia, K., S., Zhang, M. (2002). Water Permeability and Chloride Penetrability of Highstrength Lightweight Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Research*, 32:639-645.
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial Minerals and Their Uses* (1st ed.). The United States of America: Noyes Publications.
- Clarke, J., L., (1993). *Structural Lightweight Aggregate Concrete* (1st ed.). Chapman&Hall. London: CRC Press.
- Çelik, A. G., Kılıç A. M., Akkurt F. (2014). Investigation of Availability of Expanded Perlite in The Production of Construction Material. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(3), 451-458.
- Daniel Maxim, L., Niebo, R., E. McConnell, E. (2014). Perlite Toxicology and Epidemiology. *Inhalation Toxicology*, 26(5), 259-270.
- Demirboğa, R., Gül, R. (2001). The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on The Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Research*, 33, 723-727.
- Demirboğa, R., Gül, R. (2003). Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures. *Energy and Buildings*, 35(11): 1155-1159.
- Demirkol, N. (2019). Sintering and Technological Properties of Dry Pressed Ceramic Body Containing Kastamonu Mud and Clay. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 499-504.
- Devecioğlu, A. G., Biçer Y.(2012). Genleştirilmiş kil agregalı betonların ısı özelliklerinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 3(2), 75-81.
- Drozd, W., Kowalik, M., Harasymiuk, J. (2019). Light Clay and Straw Bale-Based Building Technologies. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(2), 022033.
- Duaij, J. A. A., El-Laithy K., Payappilly R. J. (1997). A value engineering approach to determine quality lightweight concrete aggregate. *Cost Engineering*, 39, 21-26.
- Düzgün, O. A., Gül, R., Aydın, A. C. (2005). Effect of Steel Fibers on the Mechanical Properties of Natural Lightweight Aggregate Concrete. *Materials Letters*, 59:3357-3363.

- El Azhary, K., Chihab, Y., Mansour, M., Laaroussi, N., Garoum, M. (2017). Energy efficiency and thermal properties of the composite material clay-straw. *Energy Procedia*, 141, 160-164.
- Gökçe, H. S., Şimşek, O., Durmuş, G., Demir, İ. (2010). Ham perlit agregalı hafif beton özelliklerine alternatif geliştirilmiş perlit kullanımının etkisi. *Politeknik Dergisi*, 13(2), 159-163.
- Gualtieri, M. L., Gualtieri, A. F., Gagliardi, S., Ruffini, P., Ferrari, R., Hanuskova, M. (2010). Thermal conductivity of fired clays: Effects of mineralogical and physical properties of the raw materials. *Applied Clay Science*, 49(3), 269-275.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M., Yorgun, S. (2006). Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği. *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2), 43-49.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M. (2006). Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar İle Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2-4 Aralık 2006.
- Gündüz, L., Kalkan, Ş., Özgüven, A. (2020). Genleştirilmiş kil agregalarının teknik özelliklerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma: Ankara Kalecik Bölgesi örneği. *Hazır Beton Dergisi*, Ocak Şubat 65-72.
- Gül, D. (2016). Characterization and expansion behaviour of perlite. Doctoral dissertation, Izmir Institute of Technology, Intitute of Science, Izmir, 447139.
- Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2003). Taguchi Methodu: Bir Uygulama. *Teknoloji*, 6 (3-4), 7-17.
- Haque, M. N., Al-Khaiat, H., Kayali, O. (2004). Strength and Durability of Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26:307-314.
- No, T. C. S. (2002). *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures* (1st ed.). Training Course Series. Vienna, Austria.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y., Barut, A. (1997). Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16(17), 51-57.
- Kabay, N. (2009). Hafif agregalı betonun boşluk yapısının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi. Doktora Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 243881.
- Kadir, A. A., Mohajerani, A., Roddick, F., Buckeridge, J. (2009). Density, strength, thermal conductivity and leachate characteristics of light-weight fired clay bricks incorporating cigarette butts. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 53, 1035-40.
- Karaaslan, E. (2019). Atık Döküm Kumunun Harç içinde Agrega Olarak Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 599239.

- Komlos, K., Popovics, S., Nürnberggerová, T., Babal, B., Popovics, J. S. (1996). Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards. *Cement and Concrete Composites*, 18(5), 357-364.
- Koroğlu, Ç. (2007). Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) Yöresi Seramik Killerinin Malzeme Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ,222717.
- Lamond, J., F., Pielert, J. (2006). *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials* (1st ed.). U.S.A.:ASTM Publication.
- Lanzo'N, M., Garcí'A-Ruiz, P., A. (2007). Lightweight Cement Mortars: Advantages And Inconveniences Of Expanded Perlite And Its Influence On Fresh And Hardened State And Durability. *Construction And Building Materials*, 22(8), 1798–1806.
- Malayoğlu, U. (1995). Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 21-22 Nisan.
- Michot, A., Smith, D. S., Degot, S., Gault, C. (2008). Thermal conductivity and specific heat of kaolinite: Evolution with thermal treatment. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(14), 2639-2644.
- Miled, K., Roy, R., L., Sab, K., Boulay, C. (2004). Compressive Behavior of an Idealised EPS Lightweight Concrete: Size Effects and Failure Mode. *Mechanics of Materials*, 36:1031-1046.
- Ng, S., Jelle, B. P., Stæhli, T. (2016). Calcined clays as binder for thermal insulating and structural aerogel incorporated mortar. *Cement and Concrete Composites*, 72, 213-221.
- Özçep, F., Karabulut, S., Özgüven, B., Sanlı, O. (2012). Tahribatsız Test Yöntemleri ve Ultrasonik Hız Ölçümleri. *Jeofizik Bülteni*, 22, 11-24.
- Pawluk, K., Miskowska, A., Widlak, A., Lendo-Siwicka, M. (2018). Comparative Analysis of Building Construction In Light Clay and Traditional Technology On A Selected Example. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 18(6.3), 73-80.
- Postacıoğlu, B. (1987). *Beton: bağlayıcı maddeler, agregalar, beton*, 2. İstanbul:Teknik Kitaplar Yayınevi.
- Short, A. (1978). *Kimniburgh W. Lightweight Concrete* (3rd ed). London: Applied Science Publishers.
- Shubbar, A. A., Sadique, M., Kot, P., Atherton, W. (2019). Future of clay-based construction materials—A review. *Construction and Building Materials*, 210, 172-187.

- Subaşı, S. (2009). Production of structural lightweight concrete with expanded clay aggregate [Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi]. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24(3).
- Sutcu, M. (2015). Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks. *Ceramics International*, 41(2), 2819-2827.
- Sümer, A. (2002). Şile Bölgesi Yüksek Demirli Taban Killerinin Zenginleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 121098.
- Taşdemir, M., A. (1982). Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y. (2004). *Taguchi's quality engineering handbook*. Japan: John Wiley & Sons.
- Tekin, İ. (2019). Genleştirilmiş Kil Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bayburt, 587846.
- Topçu, İ. B., ve Işıkdag, B. (2007). Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. *Building and Environment*, 42(10), 3540-3546.
- Topçu, İ. B., Işıkdag, B. (2008). Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3), 34-38.
- Türker, M., Güven, E. A., Ertürk, A. T. (2011). Ultrasonik yöntem ile tahribatsız malzeme muayenesi. *Metal Dünyası*, 222, 108-115.
- Türk Standartları Enstitüsü, (2019) *Standardı Kapsamında Beton Basınç Dayanımının Yerinde Tayini* (TS EN 13791). Ankara.
- URL-1:<https://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf>, (Ziyaret tarihi: 20 Haziran 2022).
- URL-2: https://abs.cu.edu.tr/Dokumanlar/2016/IMZ110/839006282_kil_ve_kil_mineral_leri.pdf, (Ziyaret tarihi: 20 Haziran 2022)
- Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building materials*, 63, 97-107.
- Vijayalakshmi, R., Ramanagopal, S. (2018). Structural concrete using expanded clay aggregate: A review. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(16), 1-12.
- Yıldırım, S. T., Baba, E. (2018). Bims agregalı ve genleştirilmiş perlit agregalı hafif kompozit harçların özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 47-52.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Başgedik, G., Demirkol N., Yıldırım S. (2021). Kıl Bağlayıcılı Yalıtım Özellikli Kompozit Malzeme Üretiminde Bağlayıcı Miktarı ve Sıcaklığın Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi. *V. Uluslararası Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Boya Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 13-15 Ekim 2021.



ÖZGEÇMİŞ

Gökçe Ege Başgedik Günay, ilk ve orta öğrenimini Tekirdağ İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra, lise eğitimini Tekirdağ Namık Kemal Anadolu Lisesi'nde aldı. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Ocak 2019'da tamamladıktan sonra, Eylül 2019'da Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı ve Haziran 2022'de de yüksek lisans tezini tamamladı. Bunun yanında ikinci üniversite olarak Anadolu Üniversitesi Dış Ticaret bölümünden Eylül 2021'de mezun oldu.

