



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYATOMİT ESASLI HAFİF YAPI ELEMANI ÜRETİMİNDE ÜRE-FORMALDEHİTİN BAĞLAYICI OLARAK KULLANILMASI

Mehmedi Vehbi GÖKÇE

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Ekim-2010

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmedi Vehbi GÖKÇE

22. 10. 2010

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DİYATOMİT ESASLI HAFİF YAPI ELEMANI ÜRETİMİNDE ÜRE-FORMALDEHİTİN BAĞLAYICI OLARAK KULLANILMASI

Mehmedi Vehbi GÖKÇE

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlhan KOÇ

2010, 118 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ
Yrd. Doç. Dr. İlhan KOÇ
Yrd. Doç. Dr. Ahmet BİLGİL
Yrd. Doç. Dr. Mustafa İNCESAKAL
Yrd. Doç. Dr. Nazım KOÇU

Diyatomit kayaçları, suyun ve yeterli nemin bulunduğu bütün ortamlarda yaşayan, tek hücreli bir yosun türü olan diyatomelerin silis yönünden zengin kabuklarının, bu canlıların ölümünden sonra su altında birikerek yığılmasıyla oluşan, oldukça yumuşak, tebeşirimsi, organik asıllı tortul kayaçlardır. Dünyada sanayinin birçok dalında yaygın olarak hammadde şeklinde kullanılan diyatomit, yapı sektöründe de çeşitli bağlayıcılar ile ısı yalıtım amaçlı blok (tuğla) üretiminde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bilinen uygulamalardan farklı olarak diyatomit esaslı hafif yapı elemanı üretiminde, üre-formaldehit bağlayıcı olarak denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, hacimce %40-45 tutkal/diyatomit oranlı karışımlardan 110-120 °C pişirme sıcaklığında, sırasıyla 0,70-0,65 g/cm^3 birim hacim ağırlıklı örnekler elde edilmiştir. Üretilen örneklerin, tutkal/diyatomit oranlarına göre, 3,7 N/mm^2 ile 3,5 N/mm^2 arasında basınç dayanımı gösterdikleri belirlenmiştir. %40 tutkal/diyatomit oranlı numunelerin ortalama 0,134 W/mK ısı iletim katsayısına sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu özelikleriyle bu elemanların hafif yapı elemanı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ulaşılan sonuçlar, elde edilen malzemenin özelliklerinin geliştirilmeye açık olduğunu, ve bu çerçevede yapılacak ileriye dönük çalışmaların, ürün kalitesini artıracağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif Yapı Elemanı, Diyatomit, Üre-formaldehit, Agrega, Bağlayıcı, Isı Yalıtımı, Ses Yalıtımı.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

USE OF UREA-FORMALDEHYDE, AS BINDING AGENT, IN THE PRODUCTION OF DIATOMITE-BASED LIGHTWEIGHT BUILDING ELEMENTS

Mehmedi Vehbi GÖKÇE

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ARCHITECTURE
Advisor: Asst. Prof. Dr. İlhan KOÇ

2010, 118 Pages

Jury
Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ
Asst. Prof. Dr. İlhan KOÇ
Asst. Prof. Dr. Ahmet BİLGİL
Asst. Prof. Dr. Mustafa İNCESAKAL
Asst. Prof. Dr. Nazım KOÇU

Diatomite rocks are reasonably soft, chalk-like, organic sedimentary rocks that are formed by accumulation of miniscule silicious skeletons of dead diatoms, a kind of unicellular algae which live in all habitats where there is water and even enough moisture. By using various binding agents in building sector, heat-insulating blocks (bricks) are currently being produced from diatomite rocks which are already in use in different industrial applications throughout the world.

In this study, differing from previously known applications; urea-formaldehyde was tested as binding agent in the production of diatomite-based lightweight building elements and positive results were achieved. Following the experiments, samples with unit weights of 0.70-0.65g/cm^3 were produced from mixtures, comprised of 40-45 % urea-formaldehyde resin to diatomite ratio in volume, respectively. It was determined that, produced samples exhibited compressive strengths between 3.7 and 3.5 N/mm^2 depending on the ratio of urea-formaldehyde resin and diatomite. The samples of 40-45% urea-formaldehyde resin and diatomite ratio were determined to have had a heat conduction factor of 0.134 W/mK. Taking these characteristics into consideration, it was concluded that these elements could be used as lightweight building elements in the construction sector.

The results have shown that the characteristics of the produced elements are open to further improvements and any prudential studies within this framework will help the quality of the products develop.

Key words: Lightweight Building Element, Diatomite, Urea-formaldehyde, Aggregate, Binding Agent, Thermal Insulation, Sound Insulation.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında sürekli yardımlarıyla bana destek olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Sayın İlhan KOÇ'a, TİK sürecinde yönlendirici tavsiyeleriyle sürekli katkıda bulunan Prof. Dr. Sayın Gülser ÇELEBİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Sayın Mustafa İNCESAKAL'a; testlerde yardımcı olan "Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Enstitüsü" müdürü Prof. Dr. Sayın Lütfullah GÜNDÜZ'e, Erciyes Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Sayın Fatih ALTUN'a, Kayseri Meslek Yüksekokulu öğretim elemanı Öğr. Gör. Sayın Ergün YEŞİLYURT'a; laboratuarlarını bana açan Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat, Jeoloji ve Maden Mühendisliği bölümlerinin değerli öğretim üyelerine ve özellikle çalışmamın başından sonuna yol gösteren İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Sayın Ahmet BİLGİL'e; Çimsa A.Ş, Niğde Çimento Fabrikası kalite kontrol sorumlusu Sayın Jülide ERDOĞAN ve çalışma arkadaşlarına, Simpaş Grubu Niğde Mikronize Kalsit Fabrikası kalite güvence sorumlusu Sayın Seçil SOYDAL EKER'e, Niğbaş A.Ş. kalite-kontrol mühendisi Sayın Seçkin ÖZDAĞ ve çalışma arkadaşlarına, yine Niğbaş A.Ş. beton santralı sorumlusu Sayın Burak AKYAVAŞ'a, Kapadokya Yapı Kimyasalları A.Ş.'nin değerli laborantı Sayın Vedat ÇALIM'a, tutkal temininde destek veren Kayseri Yağmur Ticaret sahibi Sayın Tahir Ş. OKYAY'a ve çalışmamın sonuna kadar sabırla, kararlılıkla bana destek olan sevgili eşim Ümmü. Habibe'ye, sevgili çocuklarım Betül ve Abdullah'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mehmedi Vehbi GÖKÇE
KONYA-2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TEŞEKKÜR ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **xii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

2.1. Yapay Malzemelerin Gelişim Süreci 6
2.2. Hafif Yapı Malzemeleri 8
2.3. Hafif Yapı Elemanı Üretiminde Diyatomit 17

3. MATERYAL VE METOT **23**

3.1. Diyatomit 23
3.1.1. Kimyasal ve morfolojik yapısı 24
3.1.2. Yaşam alanları ve türleri 25
3.1.3. Rezerv durumu 29
3.1.4. Çalışma alanı 32
3.1.5. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento 39
3.1.6. Bağlayıcı olarak kullanılan üre-formaldehit 39
3.2. Metot 40
3.2.1. Kimyasal-petrografik deneyler 41
3.2.2. Fiziksel-mekanik deneyler 43

4. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **49**

4.1. Çimento Bağlayıcılı Numuneler 49
4.2. Üre-Formaldehit Bağlayıcılı Numuneler 54
4.2.1. Kimyasal ve petrografik deneyler 73
4.2.1.1. Elementel analiz 73
4.2.1.2. İnce kesit alınması ve polarizan (petrografik) mikroskopla incelenmesi 73
4.2.1.3. Tarayıcı elektron mikroskopla (SEM) görüntülenmesi ve incelenmesi 74
4.2.1.4. DTA-TG analizi 74
4.2.1.5. X ışınları difraktometresi (XRD) analizi 78

4.2.2. Fiziksel ve mekanik deneyler 79
4.2.2.1. Birim hacim ağırlığı 79
4.2.2.2. Basınç Dayanımı 80
4.2.2.3. Eğilme dayanımı 80
4.2.2.4. Özgül kütle 80
4.2.2.5. Rutubet tayini 80
4.2.2.6. Kapiler su emme katsayısı 80
4.2.2.7. Su emme 80
4.2.2.8. Görünen porozite 80
4.2.2.9. Kompasite 81
4.2.2.10. Porozite (gözeneklilik) 81
4.2.2.11. Doyma derecesi 81
4.2.2.12. Donma-çözülmeye dayanıklılık 81
4.2.2.13. Isı iletim katsayısı 82
4.2.2.14. Yangına dayanıklılık 82
4.2.2.15. Buhar geçirgenliği 82
4.2.2.16. Ses yutuculuk analizi 83

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 84

KAYNAKLAR 88

EKLER 96

EK-1 DİYATOME TÜRLERİNE İLİŞKİN DİĞER RESİMLER 96

EK-2 DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR 101

EK-3 DENEY SONUÇLARINA AİT ÜÇ BOYUTLU GRAFİKLER 107

EK-4 ÖRNEK DUVAR HESABI 114

EK-5 DİYATOMİT/ÇİMENTO BAĞ ARAYÜZÜ RESİMLERİ 117

ÖZGEÇMİŞ 118

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil. 3. 1. Eucentric diyatomit fosili…… 26
Şekil. 3. 2. Eccentric diyatomit fosili…… 27
Şekil. 3. 3. Monoraphid diyatomit fosili…… 27
Şekil. 3. 4. Naviculoid diyatomit fosili …… 27
Şekil. 3. 5. Cymbelloid diyatomit fosili …… 27
Şekil. 3. 6. Epithemioid diyatomit fosili ……. 28
Şekil. 3. 7. Nitzschioid diyatomit fosili…… 28
Şekil. 3. 8. Araphid diyatomit fosili…….. 28
Şekil. 3. 9. Eunotioid diyatomit fosili……... 29
Şekil 3.10. Çalışma alanı ulaşım haritası……... 32
Şekil 3.11. Rezerv bölgesinin konumu…….. 33
Şekil 3.12. Belisırma diyatomit yataklarından detay…… 33
Şekil 3.13. Belisırma ve çevresi jeolojik haritası……... 34
Şekil 3.14. Belisırma diyatomitlerinin ince kesit mikro-fotoğrafları…… 36
Şekil 3.15. Belisırma diyatomitlerinin SEM görüntüleri……37
Şekil 3.16. Diyatomit örneği elementel analizi…….. 38
Şekil 4.1.a. Ocaktan elde edildiği hali ile diyatomit, **b.** Öğütme öncesi el ile ufalanmış diyatomit **c.** Öğütülmüş diyatomit; Niğde, Güzelyurt-Belisırma……49
Şekil 4.2. Öğütülmüş ve elenmiş diyatomitin incelik dağılımı…….. 50
Şekil 4.3. Çimento bağlayıcılı numunelerde zamana bağlı basınç mukavemeti değişimi…… 53
Şekil 4.4. %10 (a) ve %20 (b) çimento-diyatomit oranlı numuneler, 60 günlük…….. 53
Şekil 4.5. % 40 (a) ve % 10 (b) çimento oranlı numuneler, 150 günlük……. 54
Şekil 4.6 Değişik tutkal-diyatomit oranlarında dökülmüş numunelerden bir grup…… 56
Şekil 4.7. %40 tutkal-diyatomit oranlarında dökülmüş iki numune…….. 56
Şekil 4.8. Pişirme sıcaklıklarına göre tutkal diyatomit oranı ile birim ağırlık ilişkisi.. 60
Şekil 4.9. Pişirme Sıcaklıklarına göre tutkal-diyatomit oranı ile basınç dayanımı ilişkisi…… 62
Şekil 4.10. Sıcaklıklara göre sertleştirici tutkal oranı ile basınç dayanımı ilişkisi…… 65
Şekil 4.11. Sıcaklıklara göre %40 t/d oranlı numuneler için s/t oranı ile birim ağırlık ilişkisi…….. 67
Şekil 4.12. Sıcaklıklara göre %40 t/d oranlı numuneler için s/t oranı ile basınç dayanımı ilişkisi…… 68
Şekil 4.13. Tutkal diyatomit oranına göre sıcaklık ile birim ağırlık ilişkisi…….. 69
Şekil 4.14. Tutkal diyatomit oranına göre sıcaklık ile basınç dayanımı ilişkisi…… 71
Şekil 4.15. %40 tutkal oranlı örneğe ait elementel analiz……. 73
Şekil 4.16. Üre-formaldehit bağlayıcılı örneğin ince kesit mikro-fotoğrafları…….. 75
Şekil 4.17. Üre-formaldehit bağlayıcılı örneğin SEM görüntüleri…… 76
Şekil 4.18 %40 tutkal/diyatomit oranlı örneğe ait TG spektrumu……. 77
Şekil 4.19 %40 tutkal/diyatomit oranlı örneğe ait DTA spektrumu…….. 77
Şekil 4.20. XRD analiz grafiği……... 79
Şekil 4.21. Donma deneyi yapılmış bir örneğe ait yüzey resimleri……81
Şekil Ek1.1. Diyatome tür örnekleri…….. 96
Şekil Ek1.2. Diyatome tür örnekleri…….. 96
Şekil Ek1.3a. Diyatome örneği **b.** Detay……... 96
Şekil Ek1.4. Diyatome tür örnekleri…….. 96

Şekil Ek1.5. Diyatome tür örnekleri…….. 97
Şekil Ek1.6. Diyatome tür örnekleri…….. 97
Şekil Ek1.7. Diyatome tür örnekleri…….. 97
Şekil Ek1.8. Diyatome tür örnekleri…….. 97
Şekil Ek1.9. Diyatome tür örnekleri…….. 97
Şekil Ek1.10. Diyatome tür örnekleri…… 98
Şekil Ek1.11. Diyatome tür örnekleri…… 98
Şekil Ek1.12. Diyatome tür örnekleri…… 98
Şekil Ek1.13. Diyatome tür örnekleri…… 98
Şekil Ek1.14. Diyatome tür örnekleri…… 98
Şekil Ek1.15. Diyatome tür örnekleri…… 99
Şekil Ek1.16. Diyatome tür örnekleri…… 99
Şekil Ek1.17. Diyatome tür örnekleri…… 99
Şekil Ek1.18. Diyatome tür örnekleri…… 99
Şekil Ek1.19. Diyatome tür örnekleri…… 99
Şekil Ek1.20. Diyatome tür örnekleri……...100
Şekil Ek1.21. Diyatome tür örnekleri……...100
Şekil Ek2.1. İnce kesitleri fotoğraflamakta kullanılan polarizan mikroskop (NIKON ECLIPSE E 400)……..101
Şekil Ek2.2 SEM görüntülerinin alındığı tarayıcı elektron mikroskobu (LEO 440)....101
Şekil Ek2.3. Elementel analiz (EDX) cihazı……101
Şekil Ek2.4. Diyatomitin kimyasal analizinde kullanılan X Ray cihazı (SPECTRO XEPOS)……...102
Şekil Ek2.5. Diyatomitin kızdırma kaybı tespitinde analizinde kullanılan kül fırını (PROTHERM)…… 102
Şekil Ek2.6. Diyatomitin rutubet içeriği tespitinde kullanılan cihaz (SARTORIUS MA45)…… 102
Şekil Ek2.7 Diyatomiti öğütmekte kullanılan yatay eksenli bilyeli değirmen 103
Şekil Ek2.8. Basınç dayanım testlerinde kullanılan pres…….. 103
Şekil Ek2.9 Vicat çökme deney aygıtı……. 103
Şekil Ek2.10 Numuneleri pişirmekte kullanılan etüv…….. 104
Şekil Ek2.11. Numunelerin kesim işlemi…… 104
Şekil Ek2.12 Diferansiyel termal analiz (DTA)cihazı……. 104
Şekil Ek2.13. XRD analiz cihazı……. 105
Şekil Ek2.14 Eğilme momentinin ölçümünde kullanılan cihaz……... 105
Şekil Ek2.15. Piknometre düzeneği……. 105
Şekil Ek2.16. Archimedes terazisi……... 106
Şekil Ek2.17. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı…… 106
Şekil Ek3.1. 80 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 107
Şekil Ek3.2. 80 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 107
Şekil Ek3.3. 90 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 108
Şekil Ek3.4. 90 °C pişirme sıcaklığında, serleştirici-tutkal oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 108
Şekil Ek3.5. 100 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi……... 109
Şekil Ek3.6. 100 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 109

Şekil Ek3.7. 110 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi……... 110
Şekil Ek3.8. 110 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı İlişkisi…….. 110
Şekil Ek3.9. 120 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 111
Şekil Ek3.10. 120 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi……... 111
Şekil Ek3.11. 130 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi……... 112
Şekil Ek3.12. 130 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi……... 112
Şekil Ek3.13. 140 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi…….. 113
Şekil Ek4.1. Gazbeton duvar bileşenleri……. 114
Şekil Ek4.2. Diyatomit esaslı hafif yapı elemanı duvar bileşenleri……. 115
Şekil Ek5.1. 400 kg/m çimento dozajında diyatomit ve çimento ara yüzünün SEM görüntüsü……. 117
Şekil Ek5.2. Diyatomit agregası-çimento matriks ara yüz bölgesi SEM görüntüsü… 117

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Dünyada Diyatomit Üretimi (British Geological Survey)…… 31
Çizelge 3.2. Çalışma alanı diyatomitinin kimyasal yapısı……. 38
Çizelge 3.3. Çalışma alanı diyatomitinin fiziksel özellikleri……. 38
Çizelge 3.4. Çimentonun kimyasal özellikleri…….. 39
Çizelge 3.5. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri…….. 39
Çizelge 3.6. Üre-formaldehitin fiziksel ve mekanik özellikleri…… 40
Çizelge 3.7. Üre-formaldehitin kimyasal özellikleri……. 40
Çizelge 4.1. Öğütülmüş ve elenmiş diyatomitin incelik dağılımı…….. 50
Çizelge 4.2 Karışımda bulunan malzeme miktarları……. 51
Çizelge 4.3 Çimento bağlayıcılı numunelerin 7, 28, 60 ve 150 günlük değerleri……. 52
Çizelge 4.4. Pişirme sıcaklıkları ve t/d oranlarına göre birim ağırlık ve basınç dayanım özeti…… 57
Çizelge 4.5. Sıcaklık kütle kaybı ilişkisi…… 78
Çizelge 4.6. Su Buharı Geçirgenliği Analizi (TS EN 1745, ISO 12572)……... 82
Çizelge 4.7. Ses Yutuculuk Analizi (TS 2382, TS 1477 ve TS EN 20140-10)…… 83
Çizelge Ek4.1. Gazbeton duvar kesitine ait malzeme değerleri…….. 114
Çizelge Ek4.2. Diyatomit esaslı hafif yapı elemanı duvar kesitine ait malzeme değerleri……. 115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge		Tanımı	Birimi
A	:	Alan	mm^2
C_{ws}	:	Kapiler su emme katsayısı	$g/(m^2 \times s^{0,5})$
D	:	Doyma derecesi	%
d_0	:	Özgül kütle	g/cm^3
k	:	Kompasite	%
P	:	Kırılma yükü	N
P_g	:	Görünen porozite	%
P_r	:	Porozite	%
S_k	:	Kütlece su emme yüzdesi	%
S_h	:	Hacimce su emme yüzdesi	%
U	:	Yapı bileşeni ısı geçirgenlik değeri	W/m^2K
$V_{g.u}$	:	Brüt hacim	cm^3
W_s	:	Nem içeriği	%
δ	:	Buhar geçirgenliği	m.sn.Pa
λ	:	Isı iletim katsayısı	W/mK
μ	:	Buhar difüzyon direnç katsayısı	-
$\rho_{g,u}$	:	Birim hacim ağırlığı (Brüt kuru yoğunluk)	kg/m^3
σ_b	:	Basınç dayanımı	N/mm^2
σ_e	:	Eğilme momenti	N/mm^2

Kısaltmalar

a/ç	:	Agrega/çimento
ASHRAE:		Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Odası (American Society of Heating, Refrigerating andA ir-Conditioning)
ASTM:		AmerikanTest ve Malzeme Birliği (American Society for Testing and Materials)
ç/d	:	Çimento/diyatomit
DPT	:	Devlet Planlama Teşkilatı
DTA	:	Diferansiyel termal analiz
EDX	:	Elementel analiz
MÖ	:	Milattan önce
MS	:	Milattan sonra
NCMA:		Ulusal Beton Duvarcılık Birliği (National Concrete Masonry Association)
SEM	:	Tarayıcı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
s/t	:	Sertleştirici/tutkal
t/d	:	Tutkal/diyatomit
TG	:	Termogravimetrik analiz

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yeryüzünde var olduğundan beri barınma ihtiyacı duymuş, içinde bulunduğu ortamı, çalışma veya yaşama alanı olmasına göre, mevcut imkanları da zorlayarak, sürekli bir araştırma, iyileştirme çabası içerisinde olmuştur. Bu iyileştirme çabası önceleri güvenlik ağırlıklı iken, güvenlikte sağladığı gelişmeler belirli bir düzeye ulaştıktan sonra konfor ve daha sonra da estetik arayışları ağırlık kazanmaya başlamıştır. Bu arayışlar, insanoğlunun ufkunu sürekli açık tutmuş ve ona her dönemde hayranlık uyandıran başyapıtlar ortaya koyma fırsatı vermiştir. Konfor koşulları açısından yapılarda üç durum tanımlanır, bunlar:

- **Isıl konfor:** Dış ortama ait, kullanıcı açısından istenmeyen düzeydeki sıcaklığın yapı kabuğu dışında bırakılması ya da iç ortama ait istenen düzeydeki sıcaklığın korunmasıdır.
- **İşitsel konfor:** İstenmeyen düzeydeki gürültünün yapı kabuğu içine alınmaması ya da iç ortama ait işitsel mahremiyetin sağlanmasıdır.
- **Görsel konfor:** Bir mekanda yeterli düzeyde aydınlatmanın yanında, özel hayata ait yine yeterli düzeyde görsel mahremiyetin sağlanmasıdır.

Konfor koşullarını bilimsel bir temele oturtabilmek için insan fizyolojisi ile ilişkilendirilen kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Yüksel'e göre (2005), ısıl konfor açısından araştırmalar, denekler üzerinde yapılan deneyler ve bunlarla ilişkili modellerle tanımlamaktadır. İnsan ile çevre arasında devamlı olarak ısı alışverişi olmakta, kullanıcıların çalıştığı ortamların rahat, sağlıklı ve konforlu olması evde, işte verimi büyük ölçüde etkilemekte ve çevre şartlarının değişmesi sonucu vücut, fizyolojik kontrol mekanizmalarını devreye sokarak çevre ile ısıl denge kurmaya çalışmaktadır. Avcı ve Yiğit (1992), normal şartlarda insan vücudu iç sıcaklığının 37 °C civarında, deri yüzey sıcaklığının ise 31,5~33,5 °C aralığında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Odası (ASHRAE-1993), insanların hareketsiz oldukları durumda, çıplak olarak 29~31 °C arasındaki sıcaklıkta, giyinik olarak ise 23~27 °C arasındaki sıcaklıkta ortamı sıcak ya da soğuk hissetmediklerini, ısıl bir denge konumunda bulunduklarını belirtmiştir. Yüksel (2005), insanlar için dinlenme veya düşük aktivite (ofis aktivitesi) koşullarında, ortam sıcaklığının kış mevsiminde 20~24 °C, yaz mevsiminde 23~27 °C olmasının ısıl konforu sağladığını ifade etmiştir.

Hedeflenen konfor için, yaşamsal ortamların ısı dengesinin korunmasında sadece enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak dünyadaki mevcut geleneksel (fosil) enerji kaynaklarının ömrünün giderek azalması, canlı hayatını tehdit eden çevre problemleri (küresel ısınma), ve aşırı yükselen enerji maliyetleri gibi dünyanın karşı karşıya bulunduğu problemler, insan hayatını giderek zorlaştırmakta ve pahalı kılmaktadır. Bir yandan birçok gelişmiş ülkenin merkezi yönetimleri ve konuyla ilgili kurumların çözüm arayışları sürerken (alternatif-yenilenebilir-temiz enerji arayışları), diğer yandan da enerji tasarruf yöntemlerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de, ev, işyeri ve sosyal yaşam alanlarında çeşitli amaçlarla harcanan enerjinin azaltılmasıdır. Bu ihtiyaçlar ve arayışlar göz önünde bulundurularak hedeflenen amaç, yapı sektöründe enerji tüketimini azaltmaya yönelik daha nitelikli yapı elemanları üretme konusunda teknoloji geliştirme çalışmaları yürütmeye yöneltilmiştir. Malzeme bilimi kapsamında yapılan çalışmalar, ısıl konforu sağlamaya yönelik olarak üretilen, ısı iletim katsayısı düşük ve yüksek gözenekliliğe sahip hafif yapı elemanlarının önemli enerji tasarrufu sağladığı yönündedir.

Gönül'e göre (2005), yapı elemanı tasarımında öncelikli amaç optimum faydadır. Bu açıdan bakıldığında hafif yapı elemanlarının geleneksel yapı elemanlarına göre ısı yalıtımı, enerji, ekonomi ve çevre kavramları açısından daha faydalı olduğu görülür. Çünkü soğuk iklimlerde ısıtma, sıcak iklimlerde ise soğutma harcamaları, özellikle Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkeler için önemli işletme giderleridir.

Doğan ve Şener (2004), hafif yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilen binaların ısıtma ve soğutma giderlerinde %50'lere varan enerji tasarrufu sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca pomza, perlit, gazbeton, vermikülit vb. hafif yapı malzemelerini ithal eden İsveç, Norveç gibi soğuk ülkelerde bir konutun ısıtma maliyetinin, Türkiye'deki eşdeğer konutun ısıtma maliyetinin yarısından az olduğunu saptamışlardır. Dünyada ve ülkemizde kullanılan toplam enerjinin önemli bir kısmının konut ve binaların ısıtılmasında kullanıldığı düşünüldüğünde, ısı ve enerji tasarrufu yönünden konunun hayati önem arz ettiğini vurgulamışlardır. Yine, Türkiye'de elektrik kullanan 25.000.000 civarında konutun tamamında yalıtım değeri yüksek yapı malzemeleri kullanılarak iyi bir yalıtım yapılmış olması durumunda, ülkemizin ısınma ve soğutma nedeniyle her yıl yapacağı enerji tasarrufunun 10 milyar Dolar civarında olacağını, bu rakamın, enerjinin verimsiz kullanılması nedeniyle kaybedilen ve göz ardı edilmemesi gereken önemli bir kaynak israfı olduğunu belirtmişlerdir.

Isı iletkenlik katsayısı düşük hafif yapı elemanlarının ısıl, işitsel konfor koşullarını iyileştirmelerinin yanında sağladığı diğer bir fayda, yapılara gelen zati yükü azaltmalarıdır. Yapılara etkiyen yatay ve düşey kuvvetlerin büyüklüğü, yapıların inşasında kullanılan malzemeden kaynaklanan öz yükü ile doğru orantılıdır. Başka bir deyişle, bir yapı ne kadar ağır ise, deprem gibi yatay ve düşey kuvvet uygulayıcısı etkenlerin yapıda oluşturduğu hasar da o kadar fazla olmaktadır. Doğan ve Şener (2004), kum-çakıl agregalı betondan, pomza agregalı betonun 1/4, perlit agregalı betonun ise 1/6 oranında daha hafif olduğunu, böylece öz yükün % 67 oranında azaltılmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, yapının statik hesapları da hafif yapı elemanı seçimine göre yapıldığında, taşıyıcı yapı elemanlarının kesitleri önemli oranda küçülmekte, yapının emniyet katsayısı artmakta ve yapım maliyetini düşürerek ek bir girdi sağlamaktadır.

Özellikle ısıl ve işitsel konforun sağlandığı çalışma ortamlarında, çalışanların performansları yükselmekte, bu da ekonomik bir kazanç olarak geri dönmektedir. Esin (2007), kullanıcıların fiziksel-zihinsel sağlıklarının ve performanslarının istenilen düzeyde olabilmesi için, yaşamlarının büyük bölümünü geçirdikleri yapılarda yeterli ısıl, işitsel, görsel konforun ve iyi bir iç hava kitlesinin sağlanması gerektiğini ifade etmiştir. Sözen (2001), yapıda ısısal, işitsel ve benzeri konfor koşullarının elde edilmesi amacıyla yapı kabuğunun uygun gereçlerle denetlenmesi gerektiğini, bu denetimin gerçekleştirilmediği durumlarda; görüntü olarak çağdaş ancak, yaşantı olarak insanlara gerekli konfor koşullarını sağlamayan yapıların ortaya çıkacağını ifade etmiştir.

İşitsel konfor açısından önemli bir parametre de gürültüdür. Gürültü, düzensiz yapılı, farklı frekans bileşenlerine sahip olan ve genellikle zamana göre değişken olan istenmeyen ses topluluğudur. Kısaca, rahatsız edici ses olarak tanımlanan gürültü, günümüz yaşam tarzının ve kentleşmenin doğal bir sonucudur. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkilerine yönelik olarak yapılan araştırmalarda, gürültü düzeyinin seviyesine göre, insan üzerinde konforsuzluk, rahatsızlık, sıkılma duygusu, kızgınlık, konsantrasyon bozukluğu, uyku bozukluğu kalp atışında değişim, solunum hızlanması, beyindeki basıncın azalması, baş ağrısı etkileri oluştuğu, fabrika vb. endüstriyel tesislerde çalışanların dikkatlerinin dağılmasına, bunun sonucunda iş kazalarına ve iş verimliliğinin düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir etki, eğitim gören öğrenciler üzerinde de görülmüş, gürültüye maruz kalan öğrencilerin dikkatlerinin dağıldığı, konsantrasyonlarının bozulduğu, öğrenme ve hatırlama zorlukları oluşturduğu gözlenmiştir (www.ode.com.tr).

İnsanoğlu araştırma ve geliştirme yeteneğini kavradıktan sonra barınma ve korunma ihtiyaçlarını karşılamak için, önce çevresindeki doğal malzemeleri kullanmış, zamanla karşılaştığı çeşitli zorluklar ve artan ihtiyaçlar nedeniyle çeşitli hammaddelerden üstün özelliklere sahip yapay ürünler oluşturarak, yaşam standardını geliştirmiştir. Kile şekil vererek pişirmiş, bu suretle tuğlayı yapı elemanı olarak inşaat sektörüne kazandırmıştır. Asırlarca taşıyıcı amaçla kullanılan tuğlayı, betonarmenin keşfiyle ağırlıklı bir şekilde konstrüktif amaçla kullanmaya yönelmiş, kullandığı malzeme ve ürettiği yapı elemanlarında hafifliği bir ihtiyaç olarak elde etmeye çaba sarf etmiştir. Teknolojide elde ettiği gelişmelere paralel olarak, daha konforlu mekanlar aramış, dolayısı ile daha yüksek performans gösterebilecek yapay malzemelerle hafif yapı elemanları üretmeye çalışmış veya çeşitli malzemeleri değişik oranlarda bir araya getirerek kompozit yapı elemanları üretme çabası göstermiştir. Volkan küllerini kullanmayı denemiş, hafif bir malzeme olan pomzayı değerlendirmiş ve her zaman bir öncekinden daha iyi özelliklerde ürünler elde etmeye çalışmıştır. Boşluklu tuğladan gazbetona kadar bugün bilinen bütün malzemeler ve üretilen hafif yapı elemanları, bu arayışların ürünleri olmuştur.

Diğer taraftan; doğada bol miktarda bulunan endüstriyel minerallerden diyatomit, özellikle düşük birim hacim ağırlık ve yüksek poroziteye sahip olması nedeniyle yapı mühendislerinin dikkatlerini üzerine çekmiştir. Dünya yapı sektöründe hali hazırda en yaygın bağlayıcı malzeme olarak kullanılmakta olan çimento, diyatomitte de bağlayıcı olarak kullanılmış, ancak diyatomitin içeriğinde yüksek miktarda bulunan alkalilerin çimento bileşenleriyle tepkimeye girerek agrega reaktivitesi oluşturmasından dolayı istenen sonuç alınamadığı için, diyatomit esaslı yapı elemanı üretimi gerçekleştirilememiştir (Koç ve ark., 2008).

Bu çalışmada, organik, oldukça hafif, yüksek porozite, düşük ısı iletkenliği, kimyasal olarak asit ve bazlarla hemen hemen hiç tepkimeye girmeme özelliklerine sahip olan diyatomitin yapı sektörüne kazandırılması hedeflenmiştir. Çimento ve polimer bir bağlayıcı olan üre-formaldehit kullanılarak hafif yapı elemanı üretimi için yöntem araştırması yapılmıştır. Çalışmada, belirli bir incelikte öğütülmüş diyatomit, hiçbir işleme tabi tutulmadan, önce bağlayıcı olarak çimento kullanılmış, sonra yeni bir uygulama tekniği geliştirilerek üre-formaldehit denenmiş ve sonuçları gözlenmiştir. Böylece, öncelikle yerel bir hammadde olarak değerlendirilen diyatomitin doğal haliyle temel bileşen olarak kullanılarak, konfor ihtiyaçlarını karşılayan, enerji tasarrufu

sağlayan ve dış tesirlere dayanıklı, özellikli yeni bir yapı elemanının yapı endüstrisine kazandırılması hedeflenmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra, ikinci bölümde, endüstriyel hammaddelerin yapı sektöründe kullanım alanları üzerine yapılan çalışmalar ile ilgili kaynak araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma materyali incelenerek, uygulanacak yöntemler belirlenmiştir. Dördüncü bölümde ise, seçilen çalışma yöntemlerine göre numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda hacimsel olarak diyatomit/çimento karışımlarından numuneler üretilmiş ve numuneler üzerinde gerekli fiziksel deneyler yapılarak irdelenmiştir. Daha sonra, seçilen diğer bağlayıcı üre-formaldehit kullanılarak, aynı yöntemle üre-formaldehit ve diyatomit karışımlı numuneler üretilmiştir. Son olarak, üretilen numunelerden optimum performans gösteren %40 tutkal/diyatomit oranlı olanlar seçilmiş ve bunlar üzerinde gerekli fiziksel ve kimyasal testler uygulanmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, tartışılmış ve buna bağlı olarak öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapı sektöründe kullanılan yapı malzemeleri, orijinlerine göre doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfta değerlendirilmektedir. Doğal malzemeler, doğada bulundukları şekliyle doğrudan veya sınırlı bir müdahale ile kullanılan malzemelerdir. Ancak her bölgede her doğal malzemenin bulunmayışı veya kıt oluşu, insanoğlunu yeni arayışlar içerisinde yapay malzeme üretimine yöneltmiştir.

2.1. Yapay Malzemelerin Gelişim Süreci

İnsanoğlunun parçalı gereçlerle yapı oluşturma serüveni, mağara düzeninden yerleşik topluluklar düzenine geçmesi ile başlar. İlk yapıları, doğada bulunan taş, ahşap, saz, kamış gibi gereçlerle oluşturmuştur. Özellikle korunma ve barınma gereksinimi, bu doğal malzemelerin bulunmadığı veya az bulunduğu bölgelerde insanları yeni yapı malzemeleri arayışı içine itmiştir. Konuya hasrettiği çabaları ve zekası ile, çevresinde bolca bulunan toprağı yapıda kullanabilmek için onu biçimlendirip dayanıklı hale getirmiş, ilk yapay inşaat malzemesi olan kerpici bulmuş ve kullanmıştır. Kerpicin uzun ömürlü olmaması, dış etkenlerden çabuk bozulması gibi olumsuzlukları, killi toprağı pişirerek gidermeyi keşfetmiştir. Böylece ilk yapay yapı elemanı olan tuğla, insanlığa kazandırılmıştır. Zamanla, teknolojideki ilerlemeler imalata yansıtılmış ve tuğla, insan dehası ile bütünleşerek mimarideki gerçek yerini almıştır.

Tuğla isminin, Latince *tegula* kökünden geldiği varsayılmakta ve Mezopotamya bölgesinde yapılan kazılardan elde edilen bulgulardan, 15 bin yıldır kullanıldığı anlaşılmaktadır. MÖ 3000 yılında Mısırlılar, ürettikleri kerpiçlerin sonradan çatlamasını önlemek için, balçığın içerisine saman parçaları koymayı öğrenmişlerdir. Özel kalıplar içerisine dökülen bu karışım (kerpiç hamuru), ara sıra tersyüz edilerek güneşte kurutulmakta idi. Daha sonraları, ısının artmasıyla tuğlaların daha çok dayanıklılık kazandığını fark eden Mezopotamyalılar, tuğlaları güneşin altında kuruttuktan sonra, bin dereceye varan sıcaklıktaki fırınlarda pişirmişlerdir. Pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda ilk üretimi ise MÖ 4. Yüzyılda Babil Kulesi yapımına denk düşmektedir. Tarihçiler, tuğla üretimi ve endüstrisi açısından önemli bir simge haline gelen bu kulede 85 milyon adet tuğla kullanıldığını hesap etmişlerdir. Günümüz üretimi ile kıyaslandığında, yapılan üretimin teknolojik açıdan önemli bir değer taşıdığı anlaşılmaktadır (DPT 2000).

Anadolu'da ve Avrupa'da da bu tarihsel gelişime paralel olarak ilerleyen üretim şekilleri, Romalılar döneminde bu işin ticaretinin yapılmaya başlanması ile farklı bir boyut kazanmıştır. Daha ileriki dönemlerde, Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı mimarisinin vazgeçilmez bir parçası olan tuğla, Osmanlılar döneminde standart boyutlarda üretiminin ilk kez yapılarak standardizasyonunun geliştirilmesi ile Anadolu'ya has bir mimari tarz oluşturmuştur. Bu dönemde, standart dışı üretim ve bunların inşaatlarda kullanımı yasaklanmış, bu konuda önemli cezalar öngörülmüştür. Yine bu dönemde, inşaatlarda bina katları ve modelleri konusunda bile standart uygulamalar getirilmiştir. Cumhuriyetin ilanından sonra yabancı girişimciler sayesinde, Marmara ve Ege bölgelerinde tuğla ve kiremit üretim tesisleri yapılmaya başlanmış, ilerleyen dönemde yerli girişimciler sektörde gelişim sürecini yakalamış ve önceleri ithal makinelerle yapılan tesisler yerlerini yerli makinelere bırakmıştır. Avrupa'da gerçekleşen Endüstri Devrimi sırasında, tuğla üretimi fabrikasyon imalat aşamasına geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda ise yeterli bilgi ve teknoloji birikimi daha da artmış ve 1930 yılından başlayarak çimento ve kül karışımından briket üreten tesisler kurulmuştur. XIX. ve XX. yüzyıl Dünya mimarisinde tuğla, mimarinin vazgeçilmez öğesi olarak kalıcı bir yer edinmiştir. Ancak mevcut tuğla yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile, daha hafif alternatif tuğla üretimine yönelik AR-GE çalışmaları da XXI. yüzyılda en güncel konu olarak karşımıza çıkmaktadır (DPT 2000).

Gelişmiş ülkelerde 7-8 büyüklüğündeki depremlerde can ve mal kayıplarının olmaması ya da çok az olması tesadüf değildir. Bunun nedeni yapı teknolojilerindeki gelişmeler ve inşa edilen binalarda hafif malzemelerin yaygın olarak kullanılmasıdır. Hafif malzemeler bina yükünü önemli oranda azaltmaktadır. Diğer yandan depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte, dolayısıyla bina salınmakta ancak yıkılmamaktadır. Başka bir deyişle hafif malzemeler kullanılarak inşa edilen binalarda deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri de azalacağından sarsıntıların bina üzerindeki yıkıcı etkileri zayıflamaktadır (Bayülke 1998).

Yeni yapı teknolojilerinde binaların yükü, taşıyıcı sistemlere dağıtılmakta duvar, bölme elemanları, tavan, zemin ve sıvalarda hafif yapı malzemeleri kullanılmakta, binalar ağır yüklerden kurtarılmaktadır. Böylece binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmemekte ve depremin zararları da azalmaktadır. Özellikle deprem bölgelerinde hafif yapı malzemelerinin girdileri, insanoğlunu yeni arayışlar içerisine çekmiş ve konu üzerinde araştırma-geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır.

2.2. Hafif Yapı Malzemeleri

Genel olarak, günümüz inşaat teknolojisinde kullanılan konsrüktif hafif yapı elemanları endüstriyel hammaddelerden üretilmektedir. Endüstriyel hammadde tanımı; kum ve çakıl, kireçtaşı, killer, zeolit, talk, vermikulit, sepiolit, diyatomit, grafit ve silikadan; manyezit, perlit, pomza, feldispat, mika, wollastonit, barit, florit doğal taşlar ve gübreye kadar her çeşit mineral ve kayaçları kapsamaktadır. Türkiye, karmaşık jeolojik yapısı nedeniyle farklı tiplerde, önemli endüstriyel hammadde yataklarına sahiptir.

Günlük yaşantımızda vazgeçilmez bir yeri olan ve sanayinin kullanımına sunulan endüstriyel hammaddelerin üretilmesi, zenginleştirilmesi, son ürün haline getirilmesine yönelik bilimsel ve teknik bilgi üretiminin, araştırmacılar ve uzmanlar tarafından paylaşılmasının, yeni ürünlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda önemli bir yeri vardır.

Dünyada enerji maliyetlerinin giderek artması ve küresel ısınma problemi nedeniyle, temiz enerji elde edilmesi için yoğun çalışmalar yapılması, dünyanın son derece ciddi bir sorunla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Bir yandan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışılırken, diğer yandan enerji tasarrufu için alınacak önlemler üzerinde de durulmaktadır. İnşaat sektörü de, gelişen ve değişen ihtiyaçlar çerçevesinde, sosyal ortam ve teknik bakımdan daha nitelikli binaların üretimine yönelmiş ve bu yapılarda kullanılan yapı elemanlarının da daha üstün nitelikli olması gereği ortaya çıkmıştır. Günümüzde, binaların mukavemetinin yüksek ve enerji tüketiminin az olmasını sağlayacak özelliklere sahip ürünlerden inşa edilmesi, giderek daha fazla önemsenmektedir.

Pomza, perlit ve diyatomit gibi, kimyasal yapısında yüksek oranda silis (SiO_2) ihtiva eden endüstriyel hammaddeler, günümüz inşaat teknolojisinde çeşitli alanlarda yapı malzemeleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu hammaddelerden elde edilen ürünler, genellikle çimento ile bağlanılarak kullanıma sunulmaktadır. Söz konusu hammaddeler, doğada bulunuş şekli ile yüksek poroziteli ve hafif olmalarına rağmen, ancak çimento ile sağlam kütleler oluşturabildikleri için çimentonun yoğunluğundan kaynaklanan ürün yoğunluğu, minimum 0,70 g/cm^3 seviyelerinden daha aşağılara çekilememektedir. Ayrıca bünyelerinde doğal olarak bulunan minerallerden dolayı, çimento ile reaksiyona girerek alkali agrega reaktivitesi de oluşturdukları için, dış tesirlere karşı istenilen performansı gösterememektedirler.

Günümüz yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulan endüstriyel hammaddeler, kalsiyum esaslı (Çimento vb.) bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hafif duvar blokları ve yalıtım malzemeleri gibi kompozit ürün haline getirilebilmektedir. Hafif yapı malzemeleri, kalkınmış ülkelerde çok büyük oranlarda kullanılmaktadır. Günümüzde de bu tür hafif malzemelerin yapıda kullanılabilirliği üzerine çalışmalar gittikçe artan bir şekilde devam etmektedir.

Hafif yapı malzemeleri, doğal kaynakları yönünden üç grupta toplanabilir. Bunlar sırasıyla:

1. Doğal halleri ile ya da kısıtlı bir müdahale ile kullanılmaya uygun hafif malzemeler,
2. Ağır malzemelerden yapay olarak üretilen hafif malzemeler,
3. Yan ürün olarak elde edilen hafif malzemelerdir.

Bu tip malzemeler, yapı sektöründe özellikle detay malzemesi olarak kullanılarak taşıyıcı elemanlara gelen yükler azaltılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca yine bu malzemelerin yapısından dolayı, ısı ve ses yalıtımı açısından da kazanımlar elde edilmektedir. Yine bu malzemelere müdahale edilerek, don ve kimyasal etkilere karşı direnç de kazandırılabilmektedir.

Amerikan Test ve Malzeme Birliği (ASTM C90), duvarlarda kullanılan beton kagir yapı elemanlarını ağır, orta ağırlıkta ve hafif yapı elemanları olarak üç grupta sınıflandırmaktadır. Birim ağırlıkları 2,0 g/cm^3 ve yukarıda olanları ağır yapı elemanları, 2,0~1,6 g/cm^3 arasında olanları orta ağırlıkta yapı elemanları ve 1,6 g/cm^3 ten daha az olanları da hafif yapı elemanları olarak kabul etmektedir (www.astm.org).

Hafif yapı elemanı üretimi için hafif beton kullanımı, insanlık tarihi için yeni bir durum değildir. Chandra ve Berntsson (2002), Sümerlerin M.Ö. 3. binyılda Babylon'un inşasında, asidik pomza ve bazaltik pomzayı; Romalıların M.S. 14'te bir başyapıt olan Pont Du Gard'ı, MS. 70-82 yılları arasında Colosseum'u ve 118-128 yılları arasında Pantheon'u inşa ederken pomzayı kullandıklarını, Meksika'da Maya döneminde piramitlerin yapımında da pomza kullanıldığını belirtmişlerdir.

1960'larda Michigan'da, yakılmış kömür atığı olan cüruf (cinder), ucuz ve hafif bir agrega olarak kagir beton blokların imalatında kullanılmaya başlanmıştır. Bu atıklarla, "cinderblock" denilen kagir yapı elemanları üretilmeye başlanmış, ancak 1970'lerden sonra bu agrega terk edilerek yerine volkan cürufu ve genleştirilmiş kil kullanımına geçilmiştir (Lochonic, 2003).

Hafif yapı elemanları, yüksek ısı yalıtım özellikleri, ses yalıtım özellikleri, yapımında kullanıldıkları yapıların zati yüklerini azaltmaları ve böylece depreme karşı yapının direncini artırmaları gibi faydalarının yanında, işçilikte de önemli miktarda tasarruf sağlamaktadırlar. Ulusal Beton Duvarcılık Birliği (National Concrete Masonry Association, NCMA) ve Genleştirilmiş Killi Şist, Kil ve Arduvaz Enstitüsü (Expanded Shale, Clay & Slate Institute), 1989 da bir araştırma yapmışlar ve hafif yapı elemanı kullanıldığında, üretimin % 3,6 ile %32,1 arasında arttığını tespit etmişlerdir (Lochonic, 2003). Hafif yapı elemanı üretimi, dünyanın gelişmiş birçok ülkesinde doğadaki hafif minerallerin ya doğal halleriyle, ya da bu minerallerin yüksek sıcaklıklarda genleştirilip özelliklerinin daha da iyileştirilerek kullanılması şeklinde olmaktadır.

Perlit, arduvaz, kil, killi şist, vermikülit çoğunlukla genleştirilerek hafif beton ve duvar bloğu üretiminde agrega olarak kullanılan minerallerdendir (www.escsi.org). Ayrıca, pomza, perlit, kil, diyatomit, alçı ve kireç, genleştirilmeden çok az işleme tabi tutularak ta kullanılmaktadır.

Pomza, gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek ısı yalıtımı etkileri, atmosferik şartlara karşı direnci ve yüksek puzolanik aktivitesi sebebiyle, insanoğlunun geçmiş çağlardan beri kullandığı en eski yapı malzemelerinden birisidir. Son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak pomza taşı, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Pomzanın genel kimyasal bileşimi literatürde % 60~75 SiO_2 , % 13~17 Al_2O_3 , % 1~3 Fe_2O_3 , % 1~2 CaO, % 7~8 Na_2O ve K_2O ile eser miktarda TiO_2 ve SO_3 olarak verilmektedir. Yapı sektöründe pomza, çimento ile uygun şartlarda bağlanarak şekillendirilip kullanılabilmektedir.

Pomza, ilk olarak Hıristiyanlıktan çok önce, Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalıların görkemli yapılarının bir çoğunda hala gözlemlenebilmektedir. Roma duvaklarının inşaatında, su kanallarında ve daha pek çok anıtsal yapılarda kullanılmıştır. A.B.D.'de, kalıplaştırılmış pomza California'da 1851 yılından beri inşaatlarda kullanılmaktadır. Pomza, çimento ile karıştırılarak, Los Angeles su kemerinin yapımında 1908'den 1918'e kadar kullanılmıştır. A.B.D'de hafif, yalıtımlı-beton agregası olarak 1935'te kullanılmaya başlanmış ve kullanım oranı bundan sonra da düzenli bir artış göstermiştir. Puzolanik aktivitesinin yüksek oluşu sebebi ile portland çimentosu ile karıştırılarak A.B.D.'deki

çeşitli barajlarda, su kanallarında ve baraj gövde inşaatlarında kullanılmıştır. Almanya, II. Dünya Savaşından önce hafif bina yapım ünitelerinde güçlü bir üretici ve ihracatçı olmuştur. M.S. IV. yüzyıldan itibaren, XIX. yüzyıla kadar Almanya'nın Ren Bölgesindeki şehirlerde pomza kullanılmaya başlandığı görülmüştür (Özkan ve Tuncer, 2001).

Pomzadan çoğunlukla, belirli bir granülometrik düzenleme ile doğrudan çimento ile preslenerek, dekoratif ve yapısal beton bloklar, yerinde dökme beton ve duvar panelleri ile asmolen döşeme blokları gibi hafif yapı elemanları yapılmaktadır (Köse ve ark., 1997).

Cavaleri ve ark. (2003), strüktürel (yapısal) hafif beton elemanların üretiminde pomzanın bir alternatif olarak kullanılmasını tartışmış, bu tür betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi sonucunda, strüktürel panellerde uygulanabilirliğinin, genleştirilmiş kilden üretilen betonlar ve normal ağırlıklı betonlar kadar geçerli olduğunu, pomzanın yerel olarak bulunduğu yörelerde, aşırı yatay yüklere karşı yüksek dayanım gerektirmeyen strüktürel elemanların üretiminde kendisini iyi bir alternatif olarak sunduğunu ifade etmişlerdir.

Pomzanın taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabilirliliği de söz konusu olup, Sarı ve Paşaahmetoğlu (2005), pomza agrega dağılımı ve katkı maddelerinin etkilerini araştırmışlar ve katkı maddelerinin, bütün dağılım oranlarına göre, hem taze hem de prizini almış betonun özelliklerini iyileştirici etkileri olduğunu göstermişlerdir.

Yaşar ve ark. (2003), strüktürel hafif beton üretiminde bazaltik pomza kullanımının etkisini araştırmışlar ve bu tür beton üretiminde bazaltik pomza kullanımının basınç dayanımı ile çekme dayanımı değerlerinde uygun değerler verdiğini saptamışlardır. Ayrıca uçucu kül katkısının çimento tasarrufu dışında dayanım değerlerine fazlaca bir etkisi olmadığını gözlemişlerdir.

Gönül (2008), bazaltik pomza ile taşıyıcı yarı hafif beton üretimi üzerinde çalışmış, üretilen numunelerin normal betona göre etüv kurusu yoğunluğunda % 10,97; ısı iletkenliğinde %39,69 azalma, basınç dayanımında %39,09; eğilme dayanımında ise %18,23 artış gösterdiğini tespit etmiştir. Azalan yoğunluğa bağlı olarak porozite oranında %12,00 ve su emme oranında da %24,74 artış saptamıştır.

Gündüz (2008), pomzanın agrega, çimentonun da bağlayıcı olarak kullanıldığı bir çalışma yapmış ve ürettiği numuneleri basınç dayanımı, elastisite modülü, su almada genişleme, kurumada büzülme, su emme ve ısı iletimi deneylerine tabi tutmuştur. Gerçekleştirdiği deneyler sonunda, 25:1 oranına kadar agrega/çimento karışımlarının

taşıyıcı; 25:1 oranından daha fazla agrega/çimento karışımlarının ise taşıyıcı olmayan blok elemanların üretiminde kullanılabileceğini tespit etmiştir. Gündüz, deneylerinde 8-16 mm, 4-8 mm ve 0-4 mm iriliklere karşılık gelen kaba, orta irilikte ve ince pomza agrega kullanmış ve optimum karışımı %25 ince, %25 orta irilikte ve %50 kaba agrega olarak bulmuştur. Ayrıca agrega/çimento oranının düşürülmesinin dayanımı, artırılmasının da ısı yalıtım özelliğini yükselttiğini tespit etmiştir.

Demirdağ ve Gündüz (2008), volkanik cürufun çimento ile birlikte hafif duvar blokları üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlar ve 2,8~5,0 N/mm² aralığında basınç dayanımı veren numuneler üretmişlerdir. Üretilen numunelerin birim ağırlıkları ise 0,60-1,30 g/cm³ aralığında elde edilmiştir. Çimento miktarı arttıkça numunelerin basınç dayanımları, yoğunlukları ve ısı iletkenliklerinin arttığını, su emme kabiliyetlerinin ise azaldığını gözlemlemişlerdir.

Perlit, magmanın asit fazında oluşan lavların soğuyup gözle ve mikroskopla görülebilecek bir yapıda kırılmasının meydana getirdiği, kütle bünyesinde su damlacıkları bulunan, grinin tonlarından, siyaha kadar değişik renklerde, camsı, volkanik bir kayaçtır. Perlit; 0,0~2,5 mm. aralıklarda kırılıp, değişik aralıklı eleklerden geçirilerek tasnif edilmekte, 850~1150°C'deki alev şokunda, bünye suyunun mineral yapısından uzaklaştırılması ve patlatılmasıyla tane hacminin 35 misline kadar genleştirilebilmektedir. Perlitin genel kimyasal bileşimi literatürde % 71~75 SiO_2, % 12,5~18 Al_2O_3, % 2,9~4 Na_2O , % 0,5~5 K_2O, % 0,5~2 CaO, % 0,1~1,5 Fe_2O_3 , % 0,2~0,5 MgO, % 0,03~0,2 TiO2, % 0,0~0,1 MnO_2, % 0,0~0,2 SO_3 ve diğer elementler olarak verilmektedir. Ham perlit, kimyasal bileşimi bakımından silisli ve alüminyumlu bileşikler içermesi nedeni ile kalsiyum esaslı bağlayıcılarla kimyasal reaksiyona girerek, hidrolik aktivite gösterdikleri için yapı sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır. Perlitin kullanılması, çimentodan ekonomi sağladığı gibi yapı elemanına dayanıklılık da kazandırmaktadır. Genleştikten sonra 0,032-0,18 g/cm^3 yoğunlukta üretilebilen perlit, binalarda sıvada, dökme olarak çatı döşemesinde ve katlar arasında ısı-ses izolasyonunun yanında, çimento ve alçı bağlayıcısı ile hafif yapı elemanı üretiminde de kullanılmaktadır.

İşlenmiş perlitin kil ile karıştırılarak konsrüktif tuğla üretiminde kullanılabilirliliği, Topçu ve Işıkdağ (2007) tarafından incelenerek geleneksel yöntemlerle kilden üretilen tuğlaya %30 oranında katılan perlitin, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, ısı iletim direnci ve maliyet açısından en iyi sonucu verdiği ifade edilmiştir.

Perlitin taşıyıcı sistemlerde kullanılabileceği yönünde de önemli çalışmalar yapılmış, Türkmen ve Kantarcı (2007), genleştirilmiş perlit agregası ile normal agrega içeren ve kendiliğinden yerleşen betonların (çimento+silis dumanı olarak seçilen bağlayıcı dozajı 450 kg/m^3 olarak sabit tutulmuş) değişik kür koşullarındaki basınç dayanımını, görünür porozitesini ve kılcallık katsayısını araştırmışlardır. Genleştirilmiş perlit kullanıldığında, kılcallık katsayısının ve görünür porozitesinin arttığını; bunun yanında artan genleştirilmiş perlit oranıyla birlikte basınç dayanımının azaldığını göstermişlerdir.

Topçu ve Işıkdağ (2008), genleştirilmiş perliti %0 ile %60 oranında standart agrega yerine kullanarak hafif beton numuneleri üretmişlerdir. Deneylerinde CEM II 32,5 ve CEM I 42,5 olmak üzere iki tip çimento kullanmışlar ve dozajı 300, 350 ve 400 kg olarak seçmişlerdir. Ürettikleri numunelerde, 300 kg dozaj ve %30 oranında perlit değişimi için minimum birim ağırlığı 1,8 g/cm³, basınç dayanımını iki çimento türüne göre 20 N/mm² ve 30 N/mm² olarak tespit etmişlerdir.

Demirboğa ve ark. (2001), genleştirilmiş perlit ve pomzayı hafif beton üretiminde birlikte agrega olarak kullanmışlardır. Çimento dozajının %1,5'i kadar süper akışkanlaştırıcıyı su/çimento oranını düşürmek için karışımlara çimento yerine ilave etmişlerdir. Perlit agregasının oranı arttıkça, betonun birim ağırlığının 0,735 g/cm^3'e kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Karışımdaki perlit oranının pomzaya göre artırılmasının 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımlarını artırdığını gözlemişlerdir.

Demir ve Başpınar (2003), mermer çökelme havuzlarında biriken mermer tozlarını, ağırlıkça %2,5~%5 arasında genleştirilmiş perlit ile harmanlamış ve oluşturulan karışımı kireç ve alçı ile bağlayarak pişirmeden tuğlalar üretmişlerdir. Yapılan testler sonucunda bu malzeme ile yeterli mekanik özellikleri sağlayan hafif duvar bloklarının üretilebileceğine karar vermişlerdir.

Yu ve ark. (2003), perlit tozunu betona puzolanik katkı olarak ilave etmişler ve perlitin mineral katkı olarak puzolanik etkilerini, spesifik dayanım oranı, spesifik dayanım indeksi ve puzolanik etkinin dayanıma katkı yüzdesi açısından niceliksel olarak araştırmışlar ve doğal perlit tozunun yüksek puzolanik bir etkisi bulunduğunu ve beton için iyi bir aktif mineral katkı olduğunu belirtmişlerdir.

Erdem ve ark. (2006), doğal perlitin çimento üretiminde puzolanik katkı olarak kullanımını araştırmışlardır. %20 ve %30 perlit katkısı ile 320 m^2/kg ile 370 m^2/kg Blaine inceliğinde çimentolar üretmişlerdir. Üretilen çimentoların performansını lazer difraksiyon ile tanecik büyüklüğü dağılımı, normal kıvam, sertleşme süresi ve basınç

dayanımı testleri ile kontrol etmişler, perlitin katkılı çimento üretiminde kullanılmak için yeterli puzolanik etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Demirboğa ve Gül (2003), genleştirilmiş perliti beton üretiminde agrega olarak kullanmışlar ve 200 kg/m^3 olan çimento dozajını sabit tutarak bu ağırlığın %10, %20 ve %30'u kadar silis dumanı ve uçucu külü çimento yerine kullanıp sonuçlarını incelemişlerdir. Karışımın su çimento oranını düşürmek için, ağırlık olarak %1,5 oranında süper akışkanlaştırıcı katmışlardır. Çimento yerine %14 ve %18 oranlarında silis dumanı ve uçucu kül katılmasıyla ısı iletkenliğinin azaldığını ve bu katkıların miktarının artmasıyla numunelerin yoğunluklarının 0,483 g/cm^3'e kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Silis dumanı katkısının 7 günlük basınç testlerinde düşük değerlere, 28 günlük testlerde artan değerlere; uçucu külün ise her iki yaşta da düşük değerlere neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Kil; büyüklüğü iki mikrondan küçük olan taneciklerin çoğunlukta olduğu, genellikle kristal suyu içeren alüminyum silikat minerallerinden oluşan, yeterince ıslatıldığında plastik; kütle olarak kurutulduğunda sert ve yine yeterince yüksek ısıda pişirildiğinde camsılaşan doğal bir hammaddedir. Kilin genel kimyasal bileşimi literatürde % 42~65 SiO_2, % 16~21 Al_2O_3, % 0,1~0,8 Na_2O , % 1~3,6 K_2O, % 0,7~9,5 CaO, % 7~28 Fe_2O_3, % 0,8~6,2 MgO, % 0,35~1,25 TiO2, % 0,0~0,3 SO_3 ve diğer elementler olarak verilmektedir.

Kil grupları 4 grupta incelenmektedir:

Kaolinit Grubu Killer: Ana mineral olarak kaolinit (Al_2O_3. $2SiO_2$. $2H_2O$) içerirler. Doğada saf kaolinit yatakları bulunmaz. Genellikle demir oksit, silisyum oksit, silika türünde mika gibi yabancı maddeler içerirler.

Smektit Grubu Killer: Bu gruba giren killerin mineral yapıları kaolinit gibi alüminyum silikat olmalarına karşılık çok farklı bir görünüm içerisindedirler. Yapılarında magnezyum, kalsiyum, demir, sodyum gibi elementler içerirler. Montmorillonit, saponit, stevensit vb. bu grupta yer alır.

İllit Grubu Killer: Smektit grubu killerden farklı yanları potasyum içermeleridir. Killerin bu grubuna mika grubu da denir.

Klorit Grubu Killer: Bu grup killeri ince taneli ve yeşil renklidirler. Bu grup killer bol miktarda magnezyum, demir (II), demir (III) ve alümina içermektedirler.

Ancak killer, kimyasal bakımdan değişiklik gösteren maddelerden oluştuğundan ve karmaşık kimyasal yapılarda olduklarından bir standart geliştirmek mümkün olmamaktadır. Genelde tuğla üretimi için en uygun killer İllit cinsi killerdir.

Yeryüzündeki bulunan bütün killeri bir standart sınıfa sokmak pek mümkün görülmemektedir. Killer saf olarak bulunmadığından tuğla, kiremit üretimine uygunlukları, içerdikleri safsızlıklara ve miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenlerle, killerin fiziksel özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi kimyasal yapılarından daha önemlidir. Kil mineralleri normalde içerdikleri kuvars, feldspat, mika ve diğer safsızlık oranlarına bağlı olarak birbirleri ile karşılaştırılır. Tuğla killerinin genel kimyasal yapısı literatürde %42~64 SiO_2, %16~21 Al_2O_3, %7~28 Fe_2O_3, %0,7~9,5 CaO, %0,8~6,2 MgO, %1~3,6 K_2O, %0,1~0,8 Na_2O olarak verilmektedir.

Bentli ve ark. (2005), tuğla hamuruna %2,5; 5, 10 ve15 oranlarında uçucu kül katmışlar ve tuğla yapımında katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu katkının birim ağırlığı artırdığını, ancak kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmadığını tespit etmişlerdir. Yine bu katkının, su emmeyi azalttığını ancak basınç dayanımlarının bütün katkı oranlarında düştüğünü tespit etmişlerdir.

Linling ve ark. (2005), tuğla hamuruna kil yerine uçucu kül katmışlar ve tuğlaları 1050 ºC sıcaklıkta pişirmişlerdir. Uçucu kül katkısının basınç dayanımını artırdığını, su emme değerini azalttığını, kireç içeriğinden doğan çatlamayı ortadan kaldırdığını, donmaya ve çözülmeye karşı dayanımı artırdığını tespit etmişlerdir.

Gündüz ve ark.(2006), genleşmiş killerin yapı sektöründe hafif agrega olarak kullanımı için genelde bilinmesi gereken spesifik değerleri analiz etmişler ve bu kilden mamul agregaların sadece yapı endüstrisinde hafif beton, hafif yapı elemanı üretiminde değil, endüstrinin diğer birçok dalında uygulama bulabileceğini belirtmişlerdir.

Topçu ve Işıkdağ (2007), kilden üretilen tuğlalara değişik oranlarda kil yerine perlit karıştırmış ve perlit katılan tuğlaların birim ağırlığı, ısı geçirgenliği ve basınç dayanımı açısından normal tuğlalara göre karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmalarının sonunda, %24 oranında perlit katılan tuğlaların birim ağırlığı ve ısı geçirgenliği yönünden, %30 oranında perlit katılan tuğlaların basınç dayanımı yönünden, %31 oranında perlit katılan tuğlaların rötre yönünden en iyi sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir. Ancak %30 oranında perlit katkılı tuğlaların, birim ağırlığı ve basınç dayanımı yönünden en uygun oran olduğunu belirlemişlerdir.

Demir (2008), kilin bünyesindeki porozitenin artmasıyla yalıtım kapasitesinin de arttığından hareket ederek, kile ağırlıkça %0, %2,5, %5, %10, oranlarında, hızar tozu, tütün posası, ot gibi yanıcı organik malzeme ilave etmiştir. Kili 900 ºC sıcaklıkta

fırınlamış ve şekillendirilme, plastiklik, yoğunluk ve mekanik özellikler açısından sonuçları incelemiştir. Yapılan organik ilavelerin kabul edilebilir mekanik özellikleri korurken, kil bünyesinde gözenek oluşturma yönünden etkili olduğunu tespit etmiştir.

Subaşı ve Kap (2009), genleştirilmiş kilin hafif beton üretiminde kullanılması durumunda, yapının zati ağırlığının % 42, yapı eleman kesitlerinin %15, yapı temel kalınlığının %33, yapıya etkiyen deprem yüklerinin %15, kaba yapı maliyetlerinin ise %0,3 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Vermikülit, kimyasal bileşimi 22 MgO, 5 AL_2O_3, Fe_2O_3, 5 SiO_2, 4 H_2O olarak verilen hidrate bir magnezyum alüminyum silikat bileşiğidir. 300 ºC ve üzerindeki sıcaklıkta genleştirilen vermikülitin yoğunluğu, hammaddenin kalitesi, tanecik büyüklüğü ve uygulanan ısıtma metoduna göre 0,60 ile 1,50 g/cm^3 arasında değişen bir aralıktadır. -240 ile + 1100 ºC arasında kullanılabilen bir mineraldir (Suvorov ve Skurikhin, 2003). Genleştirilmiş vermikülit, hafif, yanmaz, basınca dayanıklı, emme kabiliyeti yüksek, kimyasal olarak nötr, yüksek katyon değişimi yapabilen, çok güvenli, eşsiz bir mineraldir. Kullanım alanları hafif betonlar, şaplar, sıvalar, yalıtım dolguları, tarım, refraktörler ve yüksek ısı izolasyonları, yüzme havuzu dolguları, özel kaplamalar ve hayvan besiciliği gibi alanlardır (http://www.vermiculite.org).

XIX. yüzyılda, çimento ve betonun keşfinden sonra daha hafif ve ısı yalıtım değeri daha yüksek yapı malzemesi arayışı, XX. yüzyılın başında Johan Axel Eriksson isimli İsveçli bir mimarın keşfi ile bir dönüm noktasına gelmiştir. Eriksson, ahşabın özelliklerine sahip yüksek ısı yalıtımı sağlayan, sağlam, kolay işlenebilen, yanmayan ve çürümeyen bir yapı malzemesi arayışı içinde olarak çimento, kuvarsit, kireç ve suyla, oldukça gözenekli bir malzeme üretmeyi başarmıştır. Eriksson, daha sonra literatür adı gazbeton olarak anılacak buluşunu, 1924 yılında bu malzemeyi geliştirdiği yerin adı olan küçük İsveç kasabası "Yxhult" ile, İsveç dilinde beton anlamına gelen "betong" kelimesinin karışımından elde edilen "YTONG" adı ile patent altına almıştır (www.veribaz.com).

Gazbeton, kuvarsit, çimento, kireç ve alçıtaşından oluşan karışımın hassas bir kimyevi işlem dizisiyle işlenmesiyle elde edilen, beton veya geleneksel kâgir malzemenin beşte biri ağırlığında, buna ilaveten üretim sırasında salıverilen hidrojen habbecikleri sayesinde bünyesinde oluşan yüksek gözeneklilikle hafif beton olarak yapı sektöründe aranır bir malzeme olmuştur. Kimyevi reaksiyon sırasında, karışıma katılan alüminyum macun nedeniyle açığa çıkan hidrojen habbecikleri dolayısıyla bu malzemeye "gazbeton" adı verilmiştir. Gazbeton, geniş bir ürün yelpazesine sahiptir.

Üretilen blokların basınç dayanımları ürünlerin birim ağırlıklarına göre 2,5 ile 5,0 N/mm^2 arasında, birim ağırlıkları da 0,50 ile 0,84 g/cm^3 arasında, değişmektedir (www.akg-gazbeton.com).

Türkiye'de gazbeton yapı malzeme ve elemanları kullanımı ilk olarak 1950'lerde Hilton Oteli inşaatında, Almanya'dan ithal edilerek uygulanmıştır. Bilahare, 1960'larda ilk gazbeton fabrikası İstanbul Pendikte, üretime geçmiştir. Bugün dünyada, üretim süreci ve kalite olarak birbirinden çok farklı, 50 civarında, gazbeton markası mevcuttur.

2.3. Hafif Yapı Elemanı Üretiminde Diyatomit

Diyatomit, sanayinin birçok dalında yaygın şekilde kullanılan, yapı sektörüne henüz tam olarak kazandırılamamış, ancak üzerinde çalışmaların devam ettiği, yüksek oranda boşluklu, hafif, ısı ve ses yalıtımı sağlayacak özelliklere sahip, organik asıllı bir malzemedir.

Diyatomit ürünleri, sanayide birçok işlemlerde ara malzeme ve yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Filtre yardımcı malzemesi, dolgu malzemesi, ısı, ses ve elektrik yalıtım malzemesi, soğurucu (Absorbent), aşındırıcı ve yüzey temizleyici, katalizör taşıyıcı, hafif yapı malzemesi, refraktör imalatı, birçok kimyasal maddenin üretiminde silis kaynağı, gübrelerde taşıyıcı ve topraklanmayı önleyici olarak kullanımı diyatomitten yararlanılan başlıca alanlardır.

Diyatomitin kendi ağırlığının 2,5-3 katına kadar ulaşan su emme kabiliyeti, hayvanların altına sergi malzemesi olarak kullanılmasını, halı temizlemede sıvı taşıyıcı olmasını, kağıt üretiminde mikroskobik kılcal kanalların kontrolünde uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca çimento üretiminde puzolan olarak çimentonun özelliklerini geliştirmek; betonda, harçlarda su muhtevası fazlalığını gidermek ve homojenliği ıslah etmek, plastik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılabilir (Kogel ve ark.,2006). Othmer (2010), betona belirli bir oranda diyatomit ilavesinin betonun işlenmesini ve karmaşık kalıplara yerleştirilmesini kolaylaştırdığını, basınç ve çekme dayanımını artırdığını belirtmiştir. Diyatomitin diğer önemli kullanılma alanları arasında petrol endüstrisi, inorganik ve organik kimyasal madde üretimi, demir ihtiva etmeyen metal endüstrisi ve endüstriyel atık su arıtma işlemleridir. Yüzme havuzu suyu süzme işlemleri de bir başka tüketici son kullanım noktasıdır (Kogel ve ark., 2006).

Amerika'da ilk diyatomit yatağı 1884'de Maryland'da işletilmeye başlanmış, 1880'lerin sonuna doğru da Lompoc'ta, saf ve çok büyük yataklar keşfedilmiştir. Bu yataklar halen dünyadaki en seçkin yataklardır ve günümüzdeki kullanım miktarı devam etse de dünya ihtiyacını birkaç yüzyıl daha karşılayacağı öngörülmektedir (www.geotimes.org).

M.S. 532 yılında, İstanbul'da inşa edilen Ayasofya'nın 32,50 metre çapındaki kubbesinin yapımında diyatomitten üretilen tuğlalar kullanılmıştır (Othmer, 2010). Diyatomitin ilk endüstriyel kullanımı, 2000 yıl geriye, Yunanlıların hafif tuğla yapımında ve seramik çömlekçiliğinde kullanımına kadar gider. Ancak diyatomitin benzersiz özelliklerinin gerçekten keşfedilmesi ve pazarının son kullanıcı isteklerine göre araştırılması ve geliştirilmesi 1800'lü yılların ortalarını bulmuştur. En önemli ilk kullanımı, 1860'ların ortasında Alfred Nobel'in dinamiti geliştirmesini takip etmiştir. Diyatomit, böylece patlayıcının kararlılığını ve güvenliğini sağlamak için kullanılmıştır. İlk yararlanılan diğer alanlardan bazıları, ısı yalıtım tuğlası, ateşe dayanıklı tuğlalar ile ateşe dayanıklı paneller ve yalıtımlı inşaat panellerinde bileşen olarak kullanımıdır. 1920'lerde kalsinasyon, flaks kalsinasyon gibi yöntemlerin geliştirilmesiyle işleme teknolojileri çok hızlı bir gelişim kaydetmiş, bunun sonucu olarak farklı son kullanıcılar için çok çeşitli tane büyüklüğü ve kalitede diyatomit üretimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Kogel ve ark., 2006).

Günümüz yapı sektöründe diyatomit, çimento imalatında su fazlalığını telafi etmek, çimentonun mekanik özelliklerini iyileştirmek ve puzolanik dolgu amacıyla, beton ürünlerinde hafif agrega olarak, çeşitli tuğla ürünlerinde hafiflik ve yalıtım özelliğinden yararlanmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılması yönünde araştırmaların yapılmaya devam ettiği, üzerinde sürekli çalışılan bir malzemedir.

Yapılan çalışmalarda, betona belirli oranlarda diyatomit ilavesinin basınç ve çekme dayanımını artırdığı gözlenmesine rağmen, karışımda diyatomit miktarının belirli bir orandan fazla bulunduğu durumlarda, çimento ile agrega reaktivitesi oluşturduğu için ticari ve endüstriyel olarak diyatomit esaslı, çimento bağlayıcılı hazır duvar panoları ya da duvar blokları gibi hafif yapı elemanları üretilememektedir (Koç ve ark., 2008).

Aruntaş (1996), diyatomit katkısının çimentolu sistemlerde basınç dayanımını ve eğilmede çekme dayanımını düşürdüğünü, ancak sülfat direncini artırdığını tespit etmiştir. Ayrıca diyatomitin rötreyi artırdığını da saptamıştır.

Aydın (1998), Tortum-Erzurum yöresindeki yataklardan aldığı diyatomiti %1, 2, 4 ve 5 oranlarında çimento yerine kullanarak beton numuneleri imal etmiş ve bu katkının betona etkilerini gözlemlemiştir. Numunelerin hepsinin 28 günlük basınç dayanımlarının, katkı miktarına göre, kontrol betonlarının dayanımından %15 ile %25 aralığındaki oranlarda, elastisite modüllerinin ise %2 ile %10 aralığındaki oranlarda daha düşük düzeyde oluştuğunu gözlemlemiştir. Numunelerin Poisson oranlarının ise katkı miktarı ve zamana bağlı olarak artış gösterdiğini ve artışların %25 ile %60 arasında değiştiğini, ancak her halükarda kontrol betonlarının değerinden yüksek kaldığını saptamıştır. Yine katkı oranına göre betonun priz başlangıcında %10 ile %40 arasında bir artış gerçekleşirken, toplam priz sürelerinde, %11 oranındaki diyatomit katkısında %0, diğerlerinde ise %40'lık bir artışın gerçekleştiğini belirlemiştir.

Bahadır (2001), betona çimento yerine %10, %20, %30 oranlarında diyatomit ilave etmiş, yapılan bu ilavenin betona etkilerini gözlemlemiştir. Deneylerde, bütün numunelere silis dumanı da eklemiştir. Bulgularında, diyatomitin yüksek gözenekliliğinden ötürü beton hamurunun su ihtiyacını artırdığını; ancak %10'luk diyatomit katkısının 28 günlük kür sonucunda, betonun basınç dayanımını %9~10 oranında artırmasına rağmen, %20 ve %30'luk diyatomit katkısının %22 oranına kadar düşürdüğünü tespit etmiştir. %10'luk diyatomit ilavesinde, su miktarının da önemli bir etken olduğunu tespit etmiştir. Çekme dayanımında ise, zamana bağlı olarak %10 ve %20'lik numunelerin çekme dayanımlarının düştüğünü, %30'luk örneğin çekme dayanımının diğer numunelere göre arttığını, ancak her durumda kontrol örneğine göre çekme dayanımlarının düşük çıktığını, ayrıca katkı olarak kullanılan diyatomitin inceliğinin de betonun özelliklerine etki ettiğini tespit etmiştir.

Yılmaz ve ark.(2006), Kütahya-Alayurt bölgesinin killi diyatomitlerinin, çimento üretiminde puzolanik katkı olarak kullanımını araştırmışlardır. %5, 10 ve 20 oranında diyatomit katkısını klinker ile birlikte öğütmüşler ve çimento bileşimine eklemişlerdir. %10 ve %20 oranındaki katkılarla, 42,5 basınç dayanım sınıfında çimento üretilebileceğini tespit etmişlerdir.

Kastis ve ark. (2006), diyatomitin çimento hamuruna ve çimentonun hidrasyonuna etkisini araştırmışlardır. İyon Denizi'nde bulunan Zakyntos adasından çıkarılan kalkerli diyatomiti, çimento yerine %0, %10, %20 ve %35 oranlarında kullanarak dayanım, su ihtiyacı ve priz süresini gözlemişlerdir. %10 a kadar diyatomit eklenen numunelerde su ihtiyacı artarken basınç dayanımı kontrol numuneleri ile aynı sonucu vermiştir. Diyatomitin puzolanik doğasının, özellikle yirmi sekizinci günde,

yüksek miktarlarda hidrate olmuş ürünlerin oluşumuna neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Gül ve Aydın (2007), betona çimento yerine %1, 2 ve 4 oranlarında diyatomit veya pomza katmışlar ve betonun priz süresine etkisini incelemişlerdir. Bu iki katkıdan her biri attıkça betonun priz başlangıç ve toplam priz süresinin de arttığını gözlemlemişlerdir. Katkıların, basınç dayanımı ve elastisite modülüne etkisinin ise değiştiğini tespit etmişlerdir. Araştırmaya göre, yedi günlük değerlerde düşüş gözlenirken, 14 ve 28 günlük değerlerde artış kaydedilmiştir.

Değirmenci ve Yılmaz (2009), diyatomiti çimento harcı yapımında, su ve kum oranlarını sabit tutarak ağırlıkça %0, 5, 10, 15 oranlarında çimento yerine katkı maddesi olarak kullanmışlar ve sonuçları gözlemlemişlerdir. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımları, artan diyatomit oranında bütün kür süreleri için azalmış, ancak %5 oranında diyatomit kullanılan örneğin ilgili dayanımları standartlara uygun çıkmıştır. Diyatomit katkısının, 25 kez yapılan donma ve çözülme deneylerinde basınç ve eğilme dayanımlarını yükselttiğini; %15 oranındaki diyatomit katkısı hariç, katkı oranı arttıkça harçların su emme değerinin de azaldığını belirlemişlerdir. Yine diyatomitin gözenekli yapısından dolayı, harçların birim ağırlıklarının diyatomit katkısı arttıkça azaldığını; ayrıca %5'lik sodyum sülfat çözeltisinde yaptıkları testlerde numunelerin genleşmesinin azaldığını, dolayısı ile sülfat dayanımının arttığını tespit etmişlerdir.

Litvan ve Serreda (1978), tuğla kırığı, diyatomit toprağı ve uçucu külün, betonun donma-çözülme dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kaliforniya'daki yataklardan çıkarılan ve porozitesi %77 olan diyatomitli toprağın, çimento hamuru ve betonun donma-çözülme dayanımını önemli oranda iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Sezgin (1998), diyatomitin hafif beton elde edilmesinde agrega olarak, çatı yalıtımında doğrudan döşeme üstüne serilerek ve dekoratif alçı plakların ağırlıklarının hafifletilmesinde katkı olarak kullanımını çalışmış ve hepsinde olumlu sonuçlar almıştır.

Ünal ve ark. (2003), Afyon-Tınaztepe diyatomit yataklarından elde ettikleri diyatomit mineralinin hafif beton üretiminde kullanımını araştırmışlardır. Ayrıca agrega olarak pomza, pomza+diyatomit, pomza+ kum+kırmakum karışımlarını da aynı amaçla denemişlerdir. Çalışmalarında üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, pomza ve diyatomitin hafif beton blok üretiminde değerlendirilerek tuğla gibi bölücü hafif yapı elemanı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Fragoulisa ve ark.(2004), Yunanistan'da çıkarılan, killi diyatomit kayaçlarını 100 °C'ta kurutup, 1100 °C de pişirmişler, hafif agrega olarak kullanılabilirliğini laboratuar ortamında test etmişlerdir. Agregaların kabuklarındaki gözenekliliğin, iç kısımlarınkinden daha az olduğunu ancak düzensiz ya da çapları 2µm'den 500 µm'ye varan çaplarda küresel gözeneklerin yeterli bollukta olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ham ve fırınlanmış numuneler üzerinde yapılan kimyasal, fiziksel ve mineralojik deneyler sonucunda, bu kayaçların endüstriyel ölçekte hafif agrega üretiminde kullanılabileceği sonucunu çıkarmışlardır.

Ünal ve ark. (2005), değişik agrega oranları ve çimento miktarlarıyla, Afyon bölgesinden çıkarılan diyatomitten üretilen blokların değişen bu parametrelere göre fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Karışımlarda su/çimento oranını %15 olarak sabit tutmuşlardır. Numunelerin basınç dayanımını, ısı iletimini, ultra-ses iletim hızını, birim ağırlığını ve gözenekliliğini ölçmüşlerdir. Numunelerin birim ağırlığını 0,90~1,19 g/cm³ aralığında, 7~56 günlük basınç dayanım değerlerini ise 2,5~8,0 N/mm² aralığında elde etmişlerdir. Yapılan deneylerde basınç dayanımı ve ısı iletiminde en iyi sonuçları %30 ince, %40 orta ve %30 iri agreganın kullanıldığı numuneler vermiştir. Ancak elde ettikleri SEM görüntülerinde çimento ile diyatomit agregaları arasındaki bağ ara yüzünün çok zayıf olduğunu tespit etmişlerdir.

Uygunoğlu ve Ünal (2005), diyatomitin agrega, çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı hafif beton tasarımı üzerinde çalışmışlar ve 0,95~1,20 g/cm³ birim ağırlığında beton numuneleri imal etmişlerdir. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarını 2,5~6,0 N/mm² arasında elde etmişlerdir.

Topçu ve Uygunoğlu (2006), hafif beton üretmek için hafif agrega olarak 0-4 mm maksimum irilikte diyatomit ve pomza kullanmışlar ve ürettikleri numuneler üzerinde basınçlı buhar kürünün etkisini gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında, çimento dozajını ve su/çimento oranını sırasıyla 300 kg/m³ ve %20 olarak sabit tutmuşlar; numunelerin çapını 50 mm, yüksekliğini ise 100 mm olarak seçmişlerdir. Numuneleri 2, 4, 6, 8 ve 10 saat basınçlı küre tabi tutarken, diğer yandan bir de kontrol örneği olarak +20° C sıcaklıktaki su içinde ve açık havada kür uygulamışlardır. Çalışmalarında, 8 ve 10 saat basınçlı kür uygulanan numunelerin basınç dayanımlarının, 28 günlük su kürüne tabi tutulan kontrol örneğinin dayanımından %75 daha fazla olarak geliştiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar, ayrıca üretilen numunelerin SEM görüntülerini elde etmişler ve diyatomit ile çimento arasında oluşan ara yüz bölgesinin çok zayıf kaldığını belirlemişlerdir.

Yıldız (1997), Afyon-Seydiler ilçesinde bulunan diyatomit rezervlerinin kil ve pres yardımıyla bağlanıp yüksek ısıda pişirilmesi ile yalıtım tuğlası yapımında kullanılabilirliğini araştırmış; kil oranının, pres basıncının ve pişirme sıcaklığındaki artışın numunelerde mukavemet artışına ve su emme oranının azalmasına neden olduğunu tespit etmiştir. Çalışmasında %20 kil katkısı ile hazırlanan, 10 N/mm² pres basıncında şekillendirilen ve 800 °C de pişirilen numunelerin, diğer numunelere göre izolasyon tuğlası olarak kullanım için daha uygun özelliklere sahip olduğunu belirlemiştir.

Onche ve ark. (2007), kaolin ve kilden üretilen tuğlaların yalıtım özelliklerini iyileştirmek için, daha önce Ugheoke ve ark. (2006) tarafından tuğla hamuru kompozisyonuna eklenen pirinç kabuğuna diyatomiti de eklemiş, tuğlaları 900, 1000, 1100 ve 1200 °C sıcaklıklarda pişirmiş; gram olarak 3:2~4:1 oranlarında kaolin, plastik kil, pirinç kabuğu ve diyatomitten oluşan karışımın basınç dayanımı, porozite, birim ağırlık ve ısı iletimi açısından bütün pişirme sıcaklıklarında çok iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Bideci ve ark. (2009), kile %10, 20 ve 30 oranlarında diyatomit ilave ederek 800, 900 ve 1000 °C pişirme sıcaklıklarında dolu tuğla numuneleri üretmişler ve %20 oranında diyatomit ihtiva eden numunelerin gerekli mekanik özellikleri sağlayan sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Pimraksa ve Chindaprasirt (2009), diyatomiti %15 kireç, %5 alçı ile bağlamışlar ve bu karışımın hafif tuğla yapımında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu oranlarla 14,5 N/mm^2 basınç dayanımlı, 0,88 g/cm^3 birim ağırlıkta numuneler üretmişlerdir. Diyatomiti 500 ºC sıcaklıkta kalsine ettiklerinde ise 17,5 N/mm^2 basınç dayanımında, 0,73 g/cm^3 birim hacim ağırlıkta numuneler üretmişlerdir.

Literatür ve endüstriyel imalat alanları tarandığında ABD, Kanada, Rusya ve Çin'de kil ve kazein tutkalı gibi bağlayıcılarla diyatomit esaslı tuğla üreten tesisler bulunduğu anlaşılmaktadır (www.diatomit.com, www.guizaotu.com/en/, www.kilnfurnace.com, www.oreworld.com, www.prompostavka.com).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Diyatomit

Çalışmanın ana materyalini, ülkemizde bol miktarda bulunan diyatomit oluşturmaktadır. Diyatomiti kütle haline getirebilmek için bağlayıcı olarak önce çimento kullanılmıştır. Çimento bağlayıcısı ile hafif yapı elemanı üretimi için istenen sonuçlara ulaşılmadığından, polimerler sınıfında değerlendirilen ve tamamen yerli sanayi ile üretimi gerçekleştirilebilen üre-formaldehit bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Çalışmada, öğütülmüş ve 500 μm kare gözlü elekten geçen doğal diyatomit kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak, Aksaray ili sınırlarında yer alan Güzelyurt bölgesi Belisırma'da bulunan diyatomit yatakları seçilmiştir.

Sanayinin birçok kolunda kullanılmakta olan diyatomit, inşaat sektöründe kullanılabilirliği üzerinde araştırmaların çok yoğun bir şekilde devam emekte olduğu, henüz bütün yönleriyle araştırılmamış, ancak çoğu özellikleriyle yapı endüstrisinde kendisine yer bulunabilecek bir malzemedir. Yine, ülkenin diyatomit rezervleri göz önüne alındığında büyük ekonomik kazanımlar vaat eden bir malzeme durumundadır. Yumuşaklığı nedeni ile yataklarından kolaylıkla elde edilebilirliğinin yanında, hafifliği ve yüksek boşluklu yapısı ile hem ısı yalıtımı amaçlı kullanılabilecek, hem de ek bir işlev olarak ses yalıtımı sağlayabilecek bir malzemedir. Bu çerçeveden bakıldığında konu, özellikle enerji temininde dışa bağımlı durumda olan ülkemiz için büyük önem taşımaktadır.

Diyatomit kayaçları, diyatome olarak bilinen tek hücreli deniz ve tatlı su yosun türünün, 1 ile 1000 μm aralığında büyüklüklere sahip fosilleşmiş iskelet kalıntılarından oluşmuş, silisli, çökelti kayaçlarıdır. Çökeltiler, çok ince tanecikli, %86 ile %94 gibi yüksek oranda silika içeren ve safsızlık olarak kil, kuvars, feldispat, çok az organik tortu, ikincil mineraller, diyatome özelliği taşımayan veya kristal yapıda kırılgan parçacıklar bulunan amorf yapılı opalin silisten oluşur. Doğal diyatomitin Mohs Sertliği 4,5-5 aralığında iken, kalsine edilmiş diyatomitin Mohs Sertliği 5,5-6 arasındadır (Ciullo 1996). Ergime noktası 1400°C-1750°C aralığındadır (Kogel ve ark. 2006). Çok ince gözenekli, çok düşük yoğunluklu ve özellikle birçok sıvı ve gaz ile tepkimeye girmeyen, ısı iletkenliği çok düşük bir malzemedir. Hacminin %90'ı boşluktur ve mükemmel bir filtre özelliği vardır (Brady ve ark. 2002).

Jeolojik olarak diyatomit denildiğinde, yeterli bir kalınlığa, böylece ticari değere ulaşmış çökeltiler anlaşılmaktadır. Yaygın kullanımda ise, içinde çok miktarda diyatomit bulunan tüm yığınlara diyatomit denilse de, Kogel ve ark. (2006) bunların içeriklerine göre, "diyatomitli kil" veya "killi diyatomit" gibi daha özel isimlerle adlandırılmalarının daha doğru olacağını ifade etmişlerdir.

İngilizce'de "diatomaceous earth", Almanca'da "Kieselguhr" olarak adlandırılırken, Danimarka'nın killi diyatomitine ise "maler toprağı" denmektedir. Daha eski ve artık kullanılmayan bir terim olarak "tripoli tozu, tripolit, haşlamlı toprağı" da diyatomite verilen isimlerdendir (Kogel ve ark. 2006). Türkçe'de bugün "diyatomeli toprak, diyatomit, diyatomit kayacı" olarak adlandırılan mineral, çok eski zamanlardan beri "Moskof toprağı" olarak ta anılmıştır. Ayrıca, Anadolu'nun bazı bölgelerinde pekmez şırasının süzülmesinde kullanıldığı için "pekmez toprağı" olarak ta adlandırılmaktadır. XVII. yüzyılda Orta Avrupa'da hüküm süren kıtlık yıllarında ekmeğe öğütülmüş diyatomit unu katılmış olmasından dolayı "Fosil unu, dağ unu (Bergmehl), silis unu, kum unu (kieselmehl)", cila işlerinde kullanıldığı için "parlatma toprağı (polierschifer)" olarak isimlendirildiği gibi, yine Kuzey İrlanda'da bulunan Bann Nehri boyunca uzanan killi diyatomit hafif tuğla yapımında kullanıldığı için "Bann kili", İskoçya'da Aberdeenshire-Ballater yakınında turbalar altında bulunduğundan dolayı "Beyaz turba" gibi isimler de almıştır (DPT 2001). Diyatomeler, ilk kez 1702 yılında ilkel mikroskopinin öncüsü sayılan Anton van Leeuwenhoek tarafından keşfedilip insanlığın merakına sunulmuştur (Dirican 1999). O zamandan beri üzerinde aralıksız çalışılan bir malzeme olmuştur.

3.1.1. Kimyasal ve morfolojik yapısı

Doğal diyatomitin tipik kimyasal yapısı, çıkarıldıkları yataklara göre küçük değişikliklerle en az ve en çok olmak üzere, %70~90 silis (SiO_2), %0,13~0,97 sodyum oksit (Na_2O), %3~10 alüminyum oksit (Al_2O_3), %1~6,85 demir oksit (Fe_2O_3), %0,10~1,21 titanyum oksit (TiO_2), %0,04~0,21 fosfat (PO_4), %0,19~3 kireçtaşı (CaO), %0,11~1,64 magnezyum oksit (MgO), %0,13~1,47 potasyum oksit (K_2O) olarak belirlenmiştir. Ancak, Danimarka'ya özel olan ve yüksek miktarda kil içeren "Maler toprağı"nın silis, alüminyum oksit ve demir oksit oranları bu sınırların dışında olarak sırasıyla %67,80, %10,30 ve %6,85 miktarlarındadır (Kogel ve ark. 2006). Malzeme kalsine edildiğinde, %3,60 ile %7,91 arasında da kayba uğramaktadır. Diyatomitin en

önemli özelliği ise neredeyse hiçbir kimyasal ile tepkimeye girmemesidir. Bu özellik, diyatomite çoğu filtreleme işlerinde aranan bir hammadde olma özelliği kazandırmaktadır.

Diyatomelerin kabukları şekil bakımından esas olarak iki ana gruba ayrılır. Bunların ilki "Pensales formu" olarak adlandırılır ve eksensel simetrik yapıdadırlar. İkincisi "Centrales formu" ismini taşırlar ve dairesel simetrik bir yapı arz ederler (Tappan 1981). Her hücre, bir hap kutusu gibi birbirine uyan iki kapakçıktan oluşan süslü bir iç iskelete sahiptir. Kabukların şekli, türlere göre çok büyük farklılıklar gösterir ve sınıflandırmanın temelini oluşturur. Her kapakçığın yüzeyi, kabuğun karmaşık ve narin yapısını oluşturan ve her bir türe, kendine ait özel tasarımını veren sonsuz denilebilecek sayıda açıklıklarla kaplıdır. Bazı kabukların büyüklükleri ancak mikroskopla görülebilecek kadar küçükken, bazıları da basit merceklerle ayırt edilebilecek kadar büyüktür. Yaşayan bir hücrenin kabuğu, yosun tarafından salgılanan ve fotosentez yapan bitkilerinkine benzer bir jel ile kaplıdır (Kogel ve ark.2006).

3.1.2. Yaşam alanları ve türleri

Diyatomeler, bireysel olarak ya da koloniler halinde yaşayan tek hücreli organizmalardır. Diyatomeler, deniz, tuzlu su, göl ve nehir ortamı dahil olmak üzere tatlı, tuzlu çok çeşitli ortamlarda gelişebilirler. Ayrıca, nemli topraklarda, kayaların ve bitkilerin üzerinde yaşarlar. Bazı numunelerin mağaralar, karlı ve buzlu ortamlar, sıcak su kaynakları ve oldukça kuru ortamlar gibi hiç alışılmadık yaşama ortamlarında da bulunabildikleri gözlenmiştir (Bradbury 1988). Ancak diyatomelerin yaşama ortamları için temel biyolojik gereklilikler yeterli nem, yeterli gün ışığı, yeterli fiziko-kimyasal çevre ve besin, eser elementler ve silisli ortamdır. Bu temel ihtiyaçları sunan bütün sulu ortamlarda diyatomeler gelişir ve jeolojik olarak çökelti oluşturacak kadar çoğalırlar. Böyle bir çoğalma ortamında türlerin dağılımı, ya da bir diyatome topluluğunda belirli bir türün baskın olması; suyun kimyasal yapısı, pH derecesi, besin yeterliliği ya da belirli bir besinin çokluğu, suyun bulanıklığı, sıcaklığı, derinliği gibi birçok çevresel koşullara göre değişebilir (Kogel ve ark. 2006). Bir diyatome, uygun koşulları bulduğunda bölünerek 30 günde 10^{10} adet yavru verebilmektedirler (Othmer 2010). Sudan soğurdukları, mineral adı opal olan silisten müteşekkil kabuklar oluştururlar. Mikroskobik boyuttaki kabukları çok karmaşık ve güzeldir. Bu nedenle birçok kaynakta

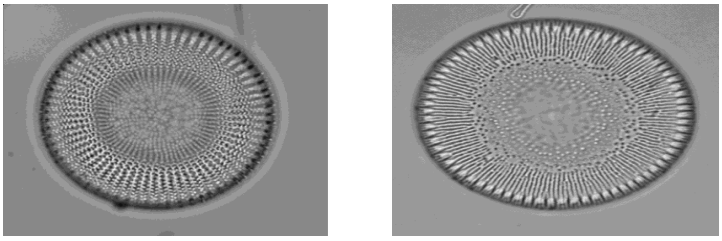
“denizin mücevherleri” diye de adlandırılmaktadırlar. Ayrıca yeryüzü için oksijen, birçok su canlısı için de yiyecek kaynağıdırlar (Dirican 1999).

Okyanus tabanı haritalarına göre, diyatomelerin gün ışığı ile aydınlanan, besince zengin suların devri daim yaptığı, okyanusların akıntı bölgelerinde toplandığı gözlenmiştir. Tatlı su diyatomeleri ise, genellikle silis yönünden zengin kaynaklar çevresinde birikmektedirler. Kısa süren bir hayattan sonra, ölen diyatomeler tabana çöker ve kabuk içindeki organik kısımlar çürüyerek geriye silisli iskeletlerini bırakırlar. Çökelen iskeletler zamanla kalın tabakalar halinde fosilleşirler. Çok aktif diyatome kolonileri, yılda birkaç milimetre kalınlık yaratacak bir çökelme hızına ulaşabilmektedirler. Diyatomeler ilk defa 65~135 milyon yıl önce Kretase Çağı’nda çok büyük miktarlara ulaşmışlar, bugün ticari değeri olan deniz yataklarının çoğunu ise Miyosen Çağı’nda (7~27 milyon yıl önce) meydana getirmişlerdir. Tatlı su yatakları ise Miyosen Çağı’ndan Pilosen Çağı’na, hatta daha yakın olarak 100 bin yıl öncesine kadar bir aralıkta oluşmuştur (Othmer, 2010).

Diyatomit çökeltilerinin ilk sınıflandırılması ise Taliaferro (1933) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre dünyada yaygın olan dört değişik, diyatomit çökelti türü vardır. Bunlar, okyanus diyatomit çökeltileri, bataklık diyatomit çökeltileri, Buzul Çağı dönemine ait buzullar arası diyatomeli göl çökeltileri ve volkanik faaliyetlerle ilgili göl ve deniz diyatomit çökeltileridir.

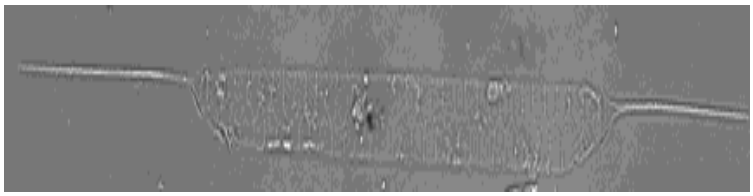
Michigan üniversitesi, diyatomelerin morfolojik özellikleri üzerinde yapay bir sınıflandırma yapmış ve yeni gruplar bulundukça mevcutlara eklenmek üzere aşağıdaki gibi dokuz gruba ayırmıştır (www.umich.edu).

1- Eucentric türde kabuk daireseldir ve kabuk yüzey süslemesi merkezi bir noktadan başlayan ışınsal bir yapıdadır (Şekil 3.1). Bazıları eliptik de olabilir.



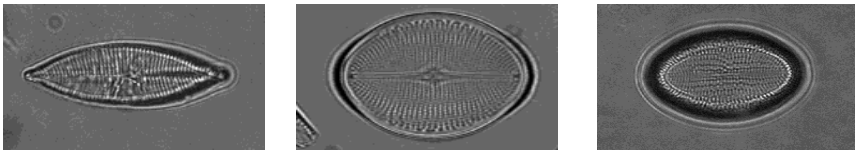
Şekil 3.1. Eucentric diyatomit fosili

2- Eccentric türde de kabuk yüzey süslemesi merkezi bir nokta etrafında ışınsal yapıdadır ancak kabuk şekli çift ya da çok kutupludur (Şekil 3.2).



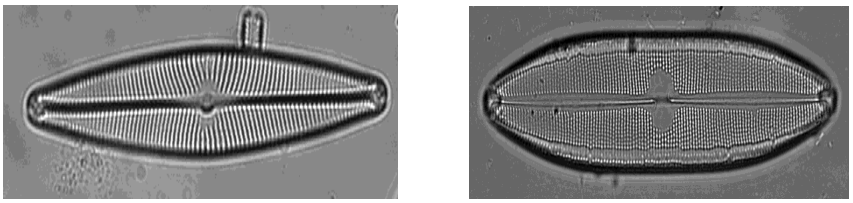
Şekil 3.2. Eccentric diyatomit fosili

3- Monoraphid türler iki eksenli, iki yönde simetriktir. Kabuğun birinde merkezi bir göğüs kemiği vardır. Diğerinde, merkezi göğüs kemiği boyunca çatlaklar vardır. Bunların oluşturduğu arakesit çizgisine raf denir. Rafların boş bir alan ile ayrılmış iki bölümü vardır (Şekil 3.3).



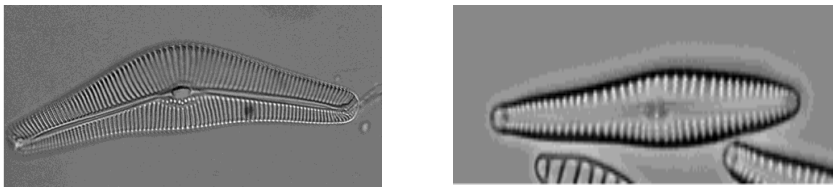
Şekil 3.3. Monoraphid diyatomit fosili

4- Naviculoid türde her iki kabukta da raf vardır ve bunlar kabuğun hem boyuna hem de çapraz eksenine göre simetriktirler. Bu grup çok büyük ve diğerlerine göre değişik bir gruptur (Şekil 3.4).



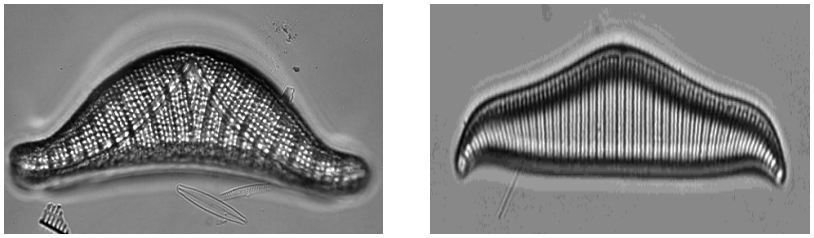
Şekil 3.4. Naviculoid diyatomit fosili

5- Cymbelloid grubunun her iki kabuğunda raf vardır ancak ya boyuna ya da çaprazına asimetriktir. Kabuğun bir ya da her iki ucunda delikli bir alan görülebilir (Şekil 3.5).



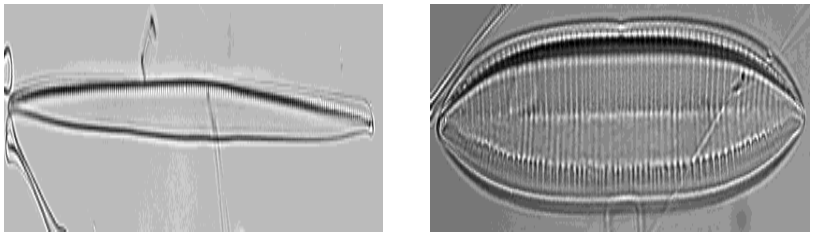
Şekil 3.5. Cymbelloid diyatomit fosili

6- Epithemioid türde her iki kabukta da raf vardır ve bunlar kanal denilen tüp şeklinde yapılardır (Şekil 3.6).



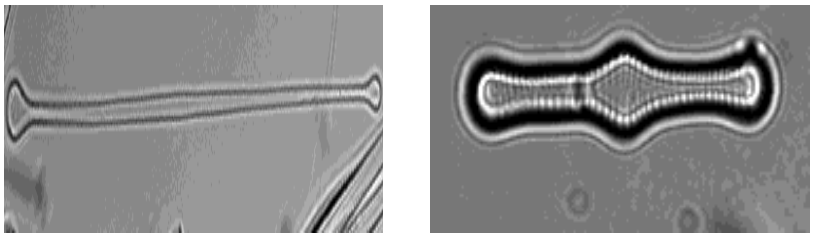
Şekil 3.6. Epithemioid diyatomit fosili

7- Nitzschioid türünün her iki kabuğunda raf vardır ve bunlar kabuk yüzeyinde omurga denilen bir yapının üzerinde yükselirler. Omurga, kabuğun ortasında veya kabuk sınırına doğru kaymış olabilir (Şekil 3.7).



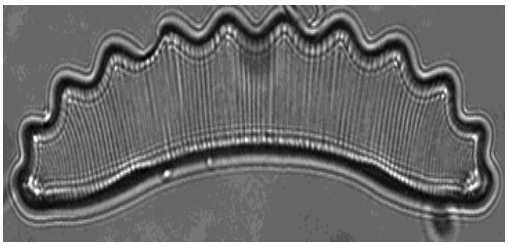
Şekil 3.7. Nitzschioid diyatomit fosili

8- Araphid türler kapakçık yüzey süslemesi merkezi bir kemiğe iki yönde simetrik yapıdadır. Çok az sayıdaki türlerde merkezi aks eğiktir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Araphid diyatomit fosili

9- Eunotioid türlerin her iki kapakçığının da rafları vardır ama her kapakçığın sonunda daralan bir yapıya sahiptirler. Boyuna aks genellikle eğridir. Bazı türlerin içbükey boşlukları çok ayrıntılı bir tarak deseni ile kaplıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Eunotioid diyatomit fosili

Diyatome türlerindeki çeşitliliğe ve zenginliğe dikkat çekmek için Şekil Ek1.1~21'de ilave diyatome resimleri verilmiştir.

Diyatomit kayaçları ise, üretim yöntemlerine göre üç grupta sınıflandırılarak, çeşitli işlemlere tabi tutulduktan sonra doğal, kalsine ve flaks-kalsine diyatomit olmak üzere üç isim altında piyasaya sürülmektedir.

Ham diyatomitin kurutulması ve kabaca yabancı bileşenlerinden ayıklanması ile doğal diyatomit elde edilir. Doğal diyatomit, döner fırınlarda 600~1000 °C sıcaklıkta kavrularak kalsine diyatomit, kalsinasyon sırasında soda ($NaCO_3$) veya tuz (NaCl) ilave edilerek de flaks-kalsine diyatomit üretilir. Kalsinasyon işlemi ile organik maddelerin uzaklaştırılması, gözeneklerin açılması, taneciklerin büzüşerek sertleşmesi ve kaynaşması sağlanır. Fırın sıcaklığı, flaks maddesinin oranı ve kalsinasyon süresine bağlı olarak değişik kalite ve özellikte diyatomit ürünleri elde edilir (DPT 2001).

3.1.3. Rezerv durumu

Her kıtada, hemen her ülkede diyatomit yatakları bulunmaktadır. Amerika'daki eyaletlerin yarısından çoğunda diyatomit yatakları rapor edilmiştir. Bazı durumlarda, deniz ve tatlı su kaynaklı yataklar ya da değişik yaşlardaki rezervler yan yana bulunabilmektedir (Othmer, 2010). Çok büyük rezervli yatakların varlığı bilinmesine rağmen, dünya diyatomit yatakları hakkında tam olarak yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bilinen yataklarda 250 milyon ton'u Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere 800 milyon ton işletilebilir diyatomit rezervi vardır. Ayrıca, 2 milyar ton kadar olan toplam potansiyel rezervin yarısından fazlası Avrupa Kıtası'nda, kalanı ise Amerika Birleşik Devletleri, Kazakistan ve Özbekistan'da bulunmaktadır (Antonides, 1998).

Avrupa'da Fransa, Danimarka, İspanya ve İzlanda diyatomit açısından zengin ülkelerdir. Amerika'da Kaliforniya, Nevada, Oregon ve Washington önemli üretim

merkezleridir. Kanada, İngiliz Kolombiyası'nda çok saf olmayan yataklar işletilmektedir. Rusya'da ve Çek Cumhuriyeti'nde azımsanmayacak miktarda üretim yapıldığı rapor edilmesine rağmen cevherler ve üretim tesisleri hakkında fazla bir bilgi yoktur. Latin Amerika'da Meksika, önde gelen üreticilerdendir. Meksika'yı Peru, Arjantin, Kosta Rika, Şili, Brezilya ve Kolombiya takip etmektedir. Çin, Japonya ve Güney Kore, Asya'da diyatomit rezervi bakımından önde gelen ülkelerdir. İran Kemal Abad'da da diyatomit üretimi rapor edilmiştir (www.usgs.gov.).

Dünyanın bilinen en büyük diyatomit yatakları Amerika Birleşik Devletleri, Kaliforniya eyaletinin Lonpoc bölgesinde yer almaktadır. Miyosen yaşlı bu yataklar denizel Sikuck formasyonunun içinde ve 300 metreye varan kalınlıklarda bulunmaktadır. Ayrıca Nevada, Washington, Gregon, Arizona ve Kansas'ta tatlı su kökenli diyatomit yatakları işletilmektedir.

Avrupa'nın en büyük yatakları ise Almanya'nın kuzeyinde Lüneburger yöresinde yayılım göstermektedir. Pleistosen'de interglasiyal göllerde oluşmuş bu yataklarda 12 milyon m^3 rezerv hesaplanmıştır. Açık işletme yöntemiyle uzun yıllardan beri işletilmektedir. Dünya diyatomit üretimine ait İngiliz Jeolojik Araştırmaları-Doğal Çevre Araştırma Konseyinin (British Geological Survey-Natural Environment Research Council) araştırmaları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Diyatomit, Türkiye'de de oldukça bol ve kaliteli yataklar vermektedir. Ancak bunların rezerv ve işletilebilirlik durumları yeteri kadar incelenmemiştir.

Ankara (Kızılcahamam ve Ayaş), Afyon, Aydın (Karacasu), Balıkesir (Gönen), Bingöl, Bursa (Orhaneli), Çanakkale, Çankırı (Şabanözü, Çerkeş ve Orta), Denizli (Tırkaz), Eskişehir, Erzurum (Tortum), Kayseri (Hırka), Konya, Kütahya (Alayurt), Nevşehir, Niğde, Sivas, Uşak (Kayağıl), Van ve yörelerinde önemli diyatomit oluşumlarının varlığı bilinmektedir. Toplam işlenebilir rezervin 100 milyon ton civarında olduğu rapor edilmiştir (DPT 2001).

Erciyes ve Melendiz Dağları Neojen volkanizmalarına bağlı diyatomit yatakları Aksaray'dan Kayseri'ye kadar uzanmaktadır. Türkiye'nin en büyük diyatomit yatağı olan ve Kayseri'nin 30 km kuzeyinde bulunan Hırka'da, 70 milyon ton (görünür + muhtemel) iyi kalite rezerv bulunmaktadır. Tabandaki aglomera ve tüflerin üzerinde 21 metre kalınlığa varan diyatomitli seviye saf, tüflü, killi ve karbonatlı olmak üzere dört tipte cevher vermektedir. Tortum'da 55 milyon ton (muhtemel) iyi kalite, Afyon'da ise 500 bin ton (görünür) kuru rezerv hesaplanmıştır (Önem 1996). Bu olumlu verilere rağmen Çizelge 3.1 incelendiğinde, Türkiye'nin 1999 yılında yaklaşık 6000 ton

diyatomit ürettiği, ancak 2000, 2001 ve 2002 yıllarında ise üretim yapmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. 1. Dünyada Diyatomit Üretimi*

Ülke	1999 (ton)	2000 (ton)	2001(ton)	2002(ton)
Çek Cumhuriyeti	7.400	6.800	6.000	5.600
Danimarka (maler) (1)	164.000	189.000	190.000	210.000
Fransa	80.000	75.000	75.000	75.000
Macaristan	1.240	1.878	1.323	1.656
İzlanda	28.299	27.614	30.434	26.494
İtalya	25.000	25.000	25.000	25.000
Makedonya	5.000	5.000	5.000	5.000
Polonya	1.240	1.270	1.000	1.000
Portekiz	772	686	387	400
Bağımsız Dev. Topluluğu (2)	80.000	80.000	80.000	80.000
İspanya(3)	51.897	66.770	70.000	50.000
Türkiye	5.926	–	–	–
Cezayir	2.563	2.979	2.863	3.185
Kenya	507	448	441	1.333
Arjantin	34.056	35.000	35.000	30.000
Brezilya (4)	9.223	11.242	10.000	10.000
Şili	14.477	13.384	22.705	30.274
Kolombiya	4.000	4.000	4.000	4.000
Kosta Rika	18.000	31.704	26.350	26.000
Meksika	65.146	96.448	69.474	62.322
Peru	35.000	35.000	35.000	35.000
ABD (5)	747.000	677.000	644.000	624.000
Çin	82.170	83.300	124.100	–
İran	4.350	300	50	–
Japonya	132.090	111.193	129.267	–
Kore Cumhuriyeti	30.222	34.143	27.530	20.666
Suudi Arabistan	1.000	1.000	–	–
Tayland	2.332	390	720	–
Avustralya	25.330	28.810	28.407	31.122

(1) Maler (moler) büyük miktarda kil ihtiva eden diyatomittir.

(2) Diyatomit, Ermenistan, Gürcistan ve Rusya'da üretilmektedir, ancak yeterli bilgi mevcut değildir.

(3) Tripoli de dahil olmak üzere.

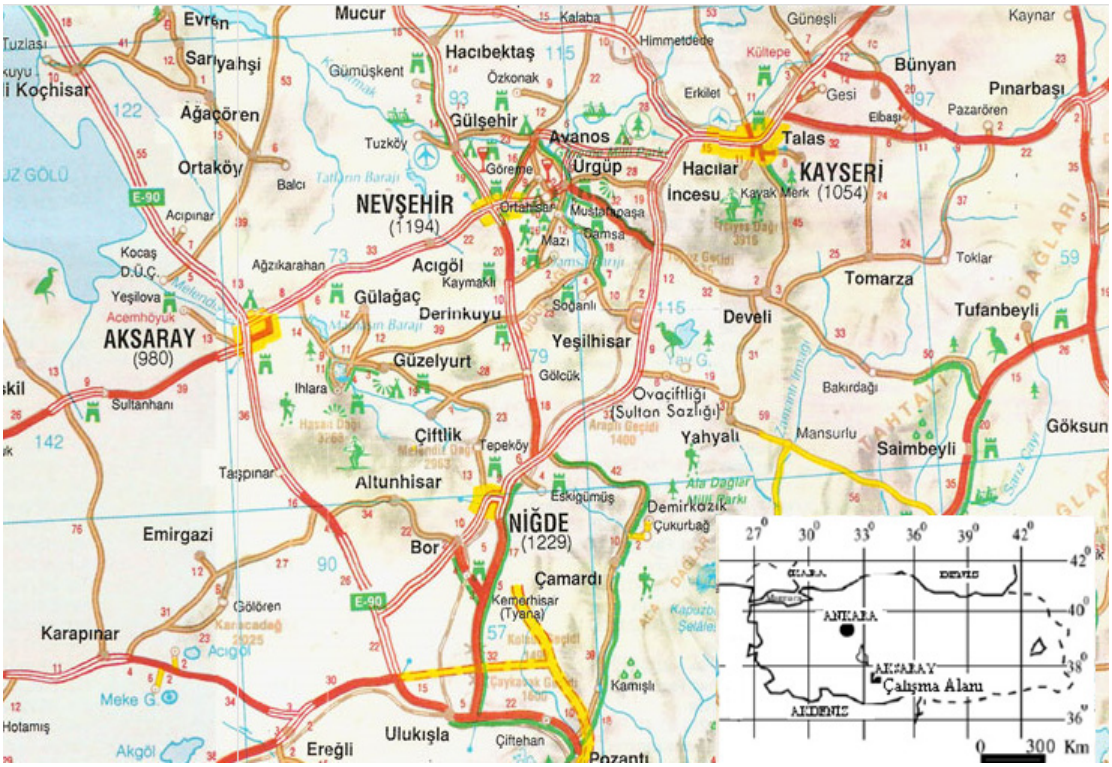
(4) Zenginleştirilmiş ve doğrudan (dışarıya) nakledilen malzeme dahil olmak üzere.

(5) Üreticiler tarafından satılan veya kullanılan.

* Kaynak: British Geological Survey

3.1.4. Çalışma alanı

Çalışma alanını Şekil 3.10 da görülen Aksaray ili, Ihlara-Selime düzlüğü içerisindeki Güzelyurt kasabası, Belisırma beldesinde bulunan diyatomit rezervi oluşturmaktadır. Belisırma beldesi Aksaray iline 33,0 km, Niğde iline 67,2 km, Nevşehir iline 88,6 km mesafede ve 33º~36º boylamları ile 36º~38º enlemleri arasındaki bölgede yer almaktadır.



Şekil 3.10. Çalışma alanı ulaşım haritası (www.neredennereye.com, 2010; Gürel ve Yıldız, 2007)

Çalışma bölgesinin konumunu görsel açıdan daha iyi ifade edebilmek amacıyla rezervi oluşturan diyatomit tepeciğine bir uydu resmi ve bir detay fotoğrafı, sırasıyla Şekil 3.11 ve 3.12'de ayrıca sunulmuştur. Rezerv bölgesi, uydu resminde beyaz bir kütle olarak belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Görünür rezerv miktarı yaklaşık 11.000 tondur. Muhtemel rezervin daha fazla olduğu tahmin edilmektedir.

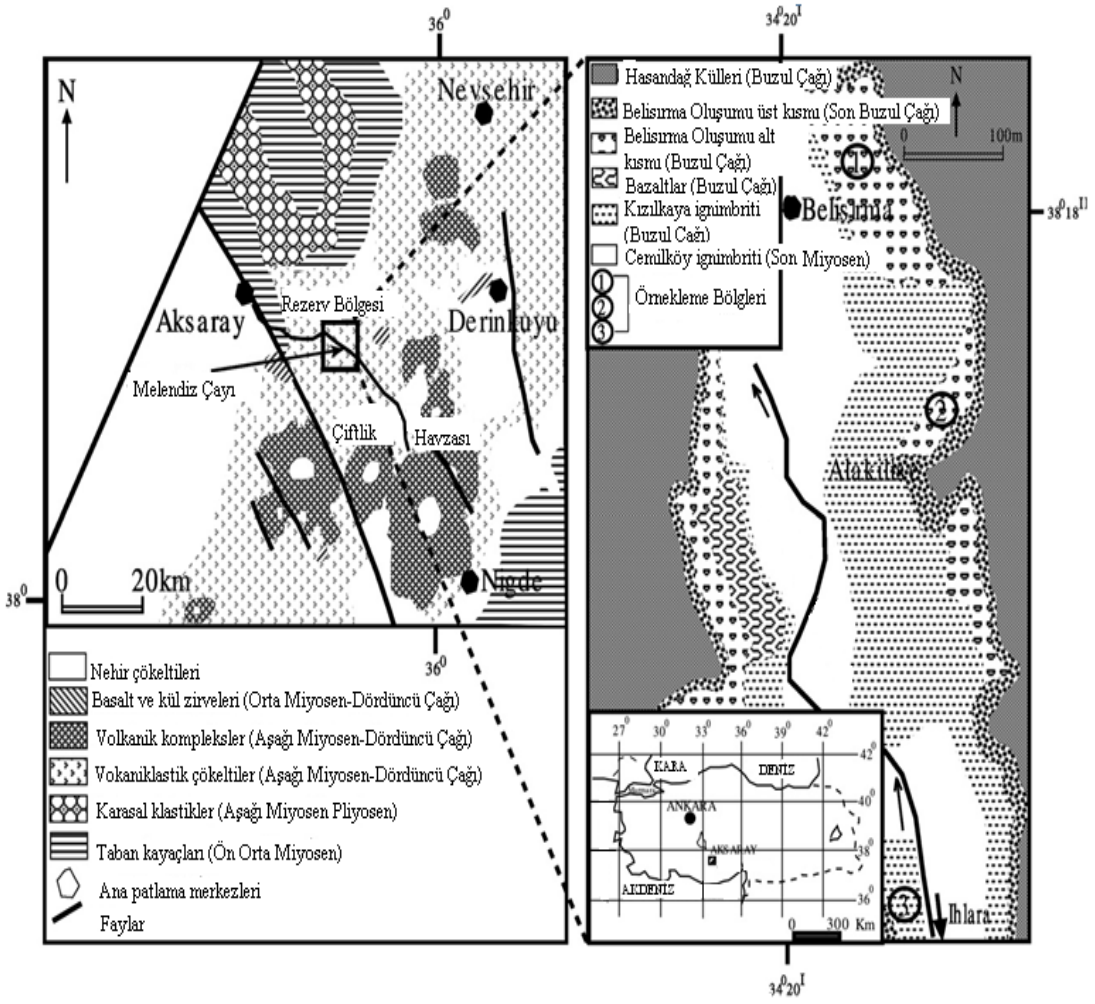


Şekil 3.11. Rezerv bölgesinin konumu (Google Earth 2010)



Şekil 3.12. Belisırma diyatomit yataklarından detay

Gürel ve Yıldız (2007), bu bölge ve çevresinde daha önce Schumaher ve Schumaher (1996) tarafından volkanizm ile ilgili, Pasquaré ve ark. (1988) tarafından bölgenin volkanik ve tektonik gelişimi ile ilgili olarak, Schumaher ve ark. (1990) tarafından radyometrik tarihleme üzerine, Batum (1975) tarafından yerkimyası (jeokimya) ve kayaçbilim (petrografi) üzerine, Ağadayı (1997) tarafından mineralbilim ve kayaçbilim üzerine ve Pasquaré (1968) ile Toprak (1996) tarafından genel jeoloji üzerine çalışmalar yapıldığını bildirmiştir. Gürel (1998) ise bölgede sedimentoloji, kayaçbilim ve yerkimyasal özellikler üzerinde çalışmıştır. Rezerv bölgesinin jeolojik haritası Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Belisırma ve çevresi jeolojik haritası (Gürel ve Yıldız 2007)

Kapadokya-Belisırma yöresinde yer alan çalışma materyali, stratigrafik tip kesit Belisırma-Merkez, ince kesit ve SEM-EDX yardımıyla araştırılmıştır. Şekil 3.14'te görülen ince kesit fotoğrafları Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde; "NIKON" marka, "ECLIPSE E 400 POL" model mikroskop ile çekilmiştir. Mikroskobun fotoğrafı ise Şekil Ek2.1'de verilmiştir. Ancak, diyatomitin petrografik özelliği, üretilen numunelerin matriks içeriği ve ince taneli kayaçların dokusunun belirlenmesi, ince kesit incelemelerinde mümkün olmadığından, bunları belirlemek için ayrıca SEM çalışmaları yapılmıştır. Bazı numuneler, bağlanmadan önce lokal ayrışma olayları ve bağlanma sonrası dağılma olayları içerebildikleri için SEM çalışmaları bu olayları takip etmede faydalı bir yöntemdir. Şekil 3.15'te verilen SEM görüntüleri, Şekil 3.16'da verilen elementel analiz grafiği (EDX analizi); Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi

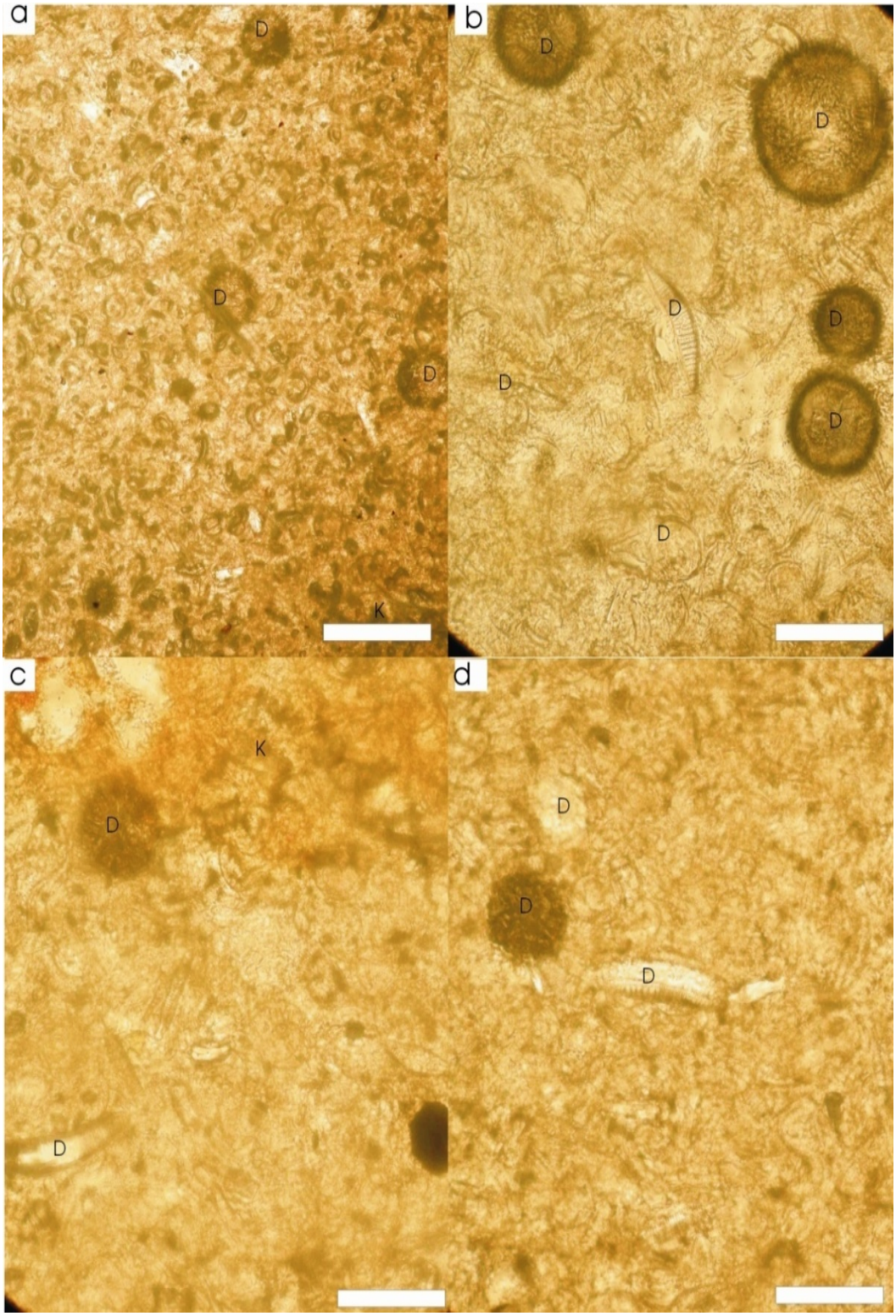
Laboratuarında, “LEO 440” marka ve model tarayıcı mikroskop (Şekil Ek2.2) ve “TrueSpec Micro” analiz cihazı ile (Şekil Ek2.3) ile çalışılmıştır. SEM görüntülerinin alınması için önce numune boyutu incelenmekte, boyut uygun değilse hassas alüminyum ve elmas uçlu bıçakla istenilen ölçülere uyarlanmaktadır. Daha sonra numune yüzeyi 1 mm düzeyinde parlatılmaktadır. Bu işlemi, diyatomit gibi iletken olmayan materyale iletkenlik kazandırma işlemi takip etmektedir. Bu amaçla, malzeme karbon, altın, paladyum gibi iletken bir tabaka ile kaplanmakta, vakumlanmakta ve mikroskop ile çalışılabilir duruma getirilmektedir.

Şekil 3.14a, b, c, d’de görülen ince kesit incelemeleri sonucuna göre, Belisırma yöresi diyatomit kayaçlarının çeşitli türlerden oluştukları ve en yaygın türlerin Cyclotella Iris ve Rhapalodia Gibba olduğu tespit edilmiştir. Bu incelemelerde, SEM incelemeleri kadar belirgin olmasa da, türlerin arasının daha ince diyatome kırıntıları ile doldurulduğu gözlenmiştir. Ayrıca, taneler arası ve diyatome kavkılarının içinde bolca boşlukların oluştuğu görülmekte ve bu yüzden taneler arası bağlantının çok zayıf olduğu düşünülmektedir.

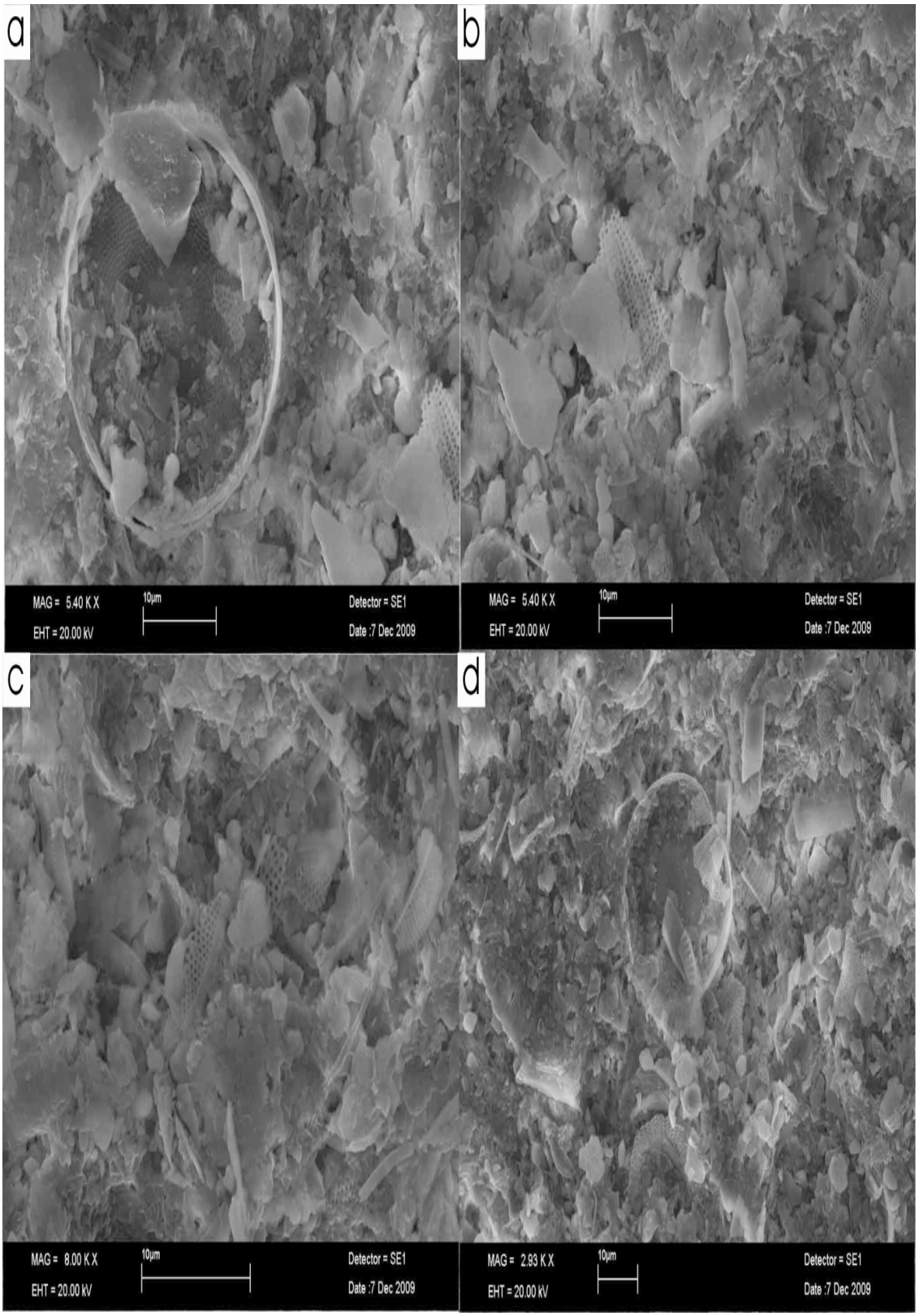
Şekil 3.15a, b, c, d ’de verilen SEM görüntülerine göre, diyatome türlerinden Cyclotella Iris ve diğer diyatomelerin hem kendi içyapılarında hem de çevrelerinde büyük boşlukların bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.15a). Diyatomeler birbirleriyle iyi tutturulmamış ve safsızlık olarak kil mineralleri de içermektedir (Şekil 3.15b). Diyatome türleri, kısıtlı olmak üzere yer yer iyi bağlanmış ve bunlar hem kendilerine özgü boşluk ve hem de fosiller arası boşluk içermektedirler (Şekil 3.15c). Diyatome türlerinin çoğunluğu kırılmamış ve aşınmamış bir şekilde bulunmaktadır. Kırılmış tanelerin ise, taşlaşma (diyajenez) esnasında ve çökelme sonucu gerçekleştiği sanılmaktadır. Aşınma ve taşınma ile ortama katılan safsızlıklar çok ince taneli kil ve feldispat gibi minerallerdir (Şekil 3.15d).

Şekil 3.16’da verilen EDX analizinde ise diyatomitin silis içeriği oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir.

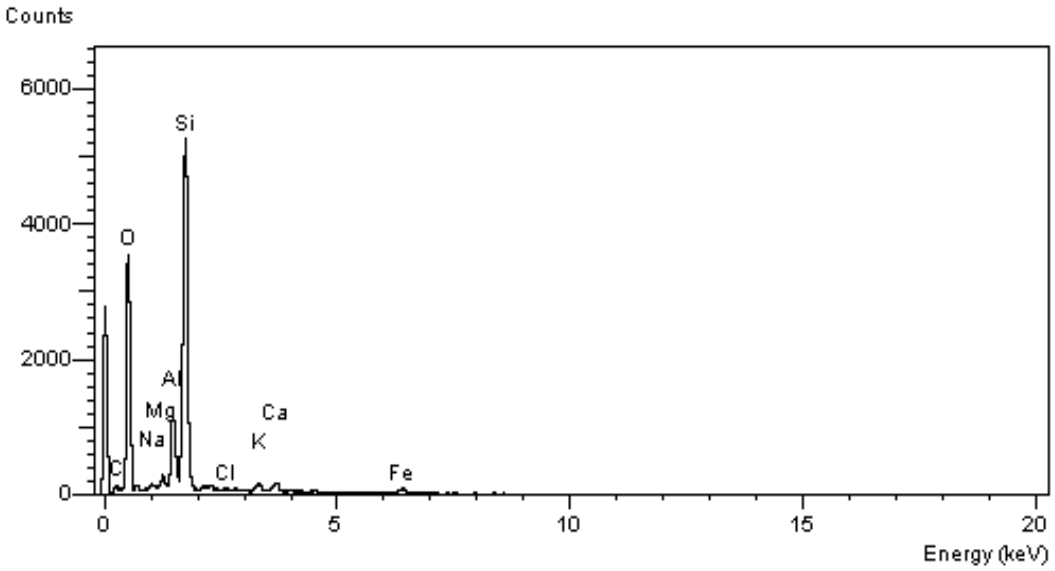
Sonuç olarak diyatomit kayacı çok çeşitli mikro organizma türleri içermekte, boyutları ortalama 01~10 mikron arasında değişmektedir. Kayacın boşluk oranının yüksek oluşu, kayacın hem kendi yapısında, hem de çevresinde boşlukların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Diyatomelerin taşınmadığı ve bunların aynı ortamda biriktiği ve muhtemelen göl ortamında oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 3.14. Belisırma diyatomitlerinin ince kesit mikro-fotoğrafları
(**a**) çeşitli diyatome türleri ve bunların iyi tutulmamış durumları gözlenmektedir (tek nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**b**) diyatome türlerinden Cyclotella iris (sağ üst köşedeki yuvarlak diyatomeler) ve Rhapalodia gibba (fotoğrafın orta kesiminde), (beyaza yakın acık alanlar, tek nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**c**) diyatome türleri arasında yer yer safsızlık olarak bulunan az miktarlarda kil mineralleri (fotoğrafın sağ üst kesimi, tek nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**d**) kırılmamış durumdaki diyatome türleri (tek nikol, çizgi ölçek 0.1 mm.).



Şekil 3.15. Belisırma diyatomitlerinin SEM görüntüleri
(**a**) diyatome türlerinden Cyclotella iris: ortada, yuvarlak diyatome (×5400); (**b**) diyatomeler arasında, levhalar şeklinde safsızlık olarak bulunan kil mineralleri (×5400); (**c**) diyatome türlerinin bazıları yer yer iyi bağlanmıştır ve bunlar hem kendilerine özgü boşluk ve fosiller arası boşluk içermektedirler (×8000); (**d**) diyatome türleri aşırı kırılmamış bir durumdadır (×2930*)*.



Şekil 3.16. Diyatomit örneği elementel analizi

Çalışma alanından elde edilen diyatomitin kimyasal analizleri ile fiziksel özelliklerine ait çalışmalar ise Niğde İli, Çimsa Çimento Fabrikası laboratuarında yapılarak Çizelge 3.2 ve 3.3'te verilen değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde kullanılan cihazlar ise Şekil Ek2.4~2.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışma alanı diyatomitinin kimyasal yapısı

Bileşen	%
SiO_2	74,37
Al_2O_3	8,416
Fe_2O_3	4,435
CaO	1,900
MgO	1,455
SO_3	0,1773
Na_2O	1,70
K_2O	1,311
Cl	0,2666
Cr_2O_3	0,01315

Çizelge 3.3. Çalışma alanı diyatomitinin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	**Birim**	**Değer**
Gevşek Birim Hacim	g/cm^3	0,50
Özgül Ağırlık	g/cm^3	2,97
Kızdırma Kaybı	%	10,56
Nem İçeriği	%	7,60
Sertlik	Mohs	5,00

3.1.5. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento

Çimento bağlayıcılı numunelerin üretiminde, Niğde'de faaliyet göstermekte olan "ÇİMSA Çimento Fabrikası" üretimi "TS EN 197-1 CEM I 42,5 R" tipi Portland Çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özelliklerine ait veriler fabrika laboratuarından sağlanarak Çizelge 3.4'te, mekanik ve fiziksel özelliklerine ait veriler de Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çimentonun kimyasal özellikleri

Bileşen	SO_3	Kızdırma Kaybı	Cl –	S.CaO	Toplam Katkı	Trass	Kalker	Alçı
%	3,50	3,30	0,0097	0,80	0,00	0,00	5,00	4,00

Çizelge 3.5. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Dayanım sınıfı	TS EN 197-1 CEM I 42,5 R Basınç Dayanımı (N/mm²)			Priz başlama süresi (Saat)	Priz sonu (Saat)	Hacim genleşmesi (mm)	Özgül Yüzey (cm²/g)	Özgül Ağırlık (g/cm³)
	1 gün	2 gün	28 gün					
42,5R	14,0	23,0	52,8	02:15	03:25	1,0	3300	3,15

3.1.6. Bağlayıcı olarak kullanılan üre-formaldehit

Diyatomitin organik asıllı bir mineral olması nedeniyle, üre-formaldehit ikinci bağlayıcı olarak seçilmiştir. Üre-formaldehit, yüksek kimyasal reaktiviteye sahip, diyatomit ile reaksiyona girebilen, kolayca temin edilebilen, ucuz bir polimer tutkal türü olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Üre-formaldehit reçinesi MDF, sunta ve kontrplak üretiminde yapıştırıcı olarak ve cilalama işlerinde yaygın biçimde kullanılan, düşük sıcaklıklarda kolaylıkla polimerleşen; yüksek çekme ve basınç gerilmesi dayanımı, düşük su emme özelliği, yüksek yüzey sertliği, sünek kırılma, ısıda şekil bozulmasına karşı dayanıklılık gibi iyi özelliklere sahip bir reçinedir. Üre-formaldehit (—[—CH_2—N—CO—N—CH_2—]^n—), dünyada ve ülkemizde belirli oranlarda üre ($(NH_2)_2CO$) ve formaldehit (CH_2O) karışımının 5 saat süre ile 115 °C sıcaklıkta ısıtılması yoluyla üretilmektedir (Ateş, 1993).

Çalışmada kullanılan reçine, piyasada %55'lik üre-formaldehit olarak bilinen reçinedir. Reçineye ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.

Sertleştirici olarak ise 10 litre su, 500 gram nişadır (NH_4Cl- Amonyum Klorür), ve 750 gram üre karışımı kullanılmıştır. Sayılan malzemeler, su içerisinde erimekte ve renksiz bir eriyik oluşturmaktadırlar. Bu şekilde hazırlanan sıvı eriyik, tutkala oranla hacim olarak diyatomit hamuruna eklenmiştir.

Çizelge 3.6. Üre-formaldehitin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Durumu	Görünümü	pH	Kaynama Noktası	Erime noktası	Nispi Yoğunluk (20 ºC de)
Sıvı	Sütbeyazı	7,5~9,0	Yaklaşık 102 ºC	Yaklaşık -10 ºC	1,19~1,24 g/cm^3

Çizelge 3.7. Üre-formaldehitin kimyasal özellikleri

	Katı Madde 120 ºC, 2 saat, %	Viskozite, Dın/cPs	pH 20 ºC	Reaktivite, 100 °C, sn	Serbest CH_2O, % Max.
Analiz Sonucu	55,01	20"/135	8,68	41	0,51
Fabrika Aralığı	55,0 ± 1	125 ~ 250	7,5 ~9,0	30 ~ 45	0,6

3.2. Metot

Çalışmada, iki farklı türde bağlayıcı, çimento ve üre-formaldehit kullanılmıştır. Önce çimento bağlayıcılı numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, öğütülmüş diyatomitin gevşek birim hacim ağırlığının 0,5 g/cm^3, Portland çimentosu gevşek birim hacim ağırlığının ise 1,30 g/cm^3 olmasından dolayı; çok düşük çimento dozlu numune üretiminden kaçınmak için, karışımlarda ağırlık esası yerine hacim esası baz alınmıştır.

Diyatomit öğütüldükten sonra 500 µm kare gözlü elekten geçen malzeme ile hacim esasına göre %10, 20, 30 ve 40 çimento/diyatomit (ç/d) oranlı karışım numuneleri oluşturulmuştur. Karışımlarda diyatomit miktarları sabit, çimento miktarları değişkendir. Çalışmada, 100×100×100mm ölçülerinde, her bir karışım seti için 18 adet olmak üzere toplam 72 adet küp numune üretilmiştir. Hazırlanan numuneler kür şartlarından sonra 7, 28, 60 ve 150 günlük yaşlarda, tek eksenli basınç dayanım testlerine tabi tutulmuştur.

Çimento bağlayıcılı numunelerin yanı sıra üre-formaldehit bağlayıcılı numuneler hazırlanmıştır. Yine, diyatomit öğütüldükten sonra 500 µm kare gözlü elekten geçen

malzeme kullanılmıştır. Bu aşamada ise %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 oranlarında, yine hacimce üre-formaldehit/diyatomit (tutkal/diyatomit) karışımlarında 70x70x70 mm, 100x100x100 mm ve 150x150x150 mm boyutlarında toplam 740 numune üretilmiştir. Bu oranlarda hazırlanan numuneler, etüvde 80, 90, 100, 110, 120, 130 ve 140 °C sıcaklıklarda, 24 saat süreyle etüv kurusu durumuna gelene kadar pişirilmiştir. Karışım kompozisyonlarında diyatomit miktarı sabit, tutkal, sertleştirici miktarları ve pişirme sıcaklıkları değişkendir. Numuneler, pişirme süresi sonunda fırında tedricen soğutulduktan sonra dışarıya alınmış ve laboratuar ortamında depolanmıştır. Laboratuar ortam sıcaklığı 21~23 ºC, ortam bağıl nemi ise %55~60 arasında bulunması sağlanmıştır.

Üretilen numunelerin birim ağırlıkları tespit edildikten sonra, basınç dayanım testlerine tabi tutulmuşlardır. Her bir üretim grubundan altışar adet numune basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Basınç dayanım testlerinde yalnızca bir grubun bütün sıcaklıklarda 2,0 N/mm^2 üzerinde değer verdiği görülmüş, bu grubun kimyasal ve fiziksel bazı özelliklerinin tespiti için ek deneyler yapılmıştır.

Ancak, üretilen numunelerde bağlayıcı olarak üre-formaldehitin kullanıldığı ve kendi alanında ilk üretim çalışması olduğu için, henüz Türk Standartlarında bu yapı elemanı için tanımlanmış bir deneyler dizisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, temel özelliklerin belirlenmesi amacıyla, Türk Standartlarında tanımlanmış hafif yapı elemanları, kil esaslı yapı malzemeleri, doğal taş yapı malzemesi gibi ürünler üzerine uygulanan deneylerden bazıları numuneler üzerinde uygulanmıştır.

Yapılan deneyler, kimyasal-petrografik deneyler ve fiziksel-mekanik deneyler olarak iki grupta ele alınmıştır. Gerçekleştirilen deneyler ve yöntemleri aşağıda özetlendiği şekildedir.

3.2.1. Kimyasal-petrografik deneyler

- **Elementel (EDX) analiz**

Elementel analiz, Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde "TruSpec Micro" marka ve model cihaz ile yapılmıştır (Şekil Ek2.3). Numunenin yüksek sıcaklıkta çok hızlı bir şekilde yakılması sonucu elde edilen yanma gazları, taşıyıcı gaz oksijen kullanılarak detektöre gönderilmektedir. Analiz, yiyecekler, etler, besinler, yağ tohumları, bitkiler, öğütülmüş ürünler, topraklar ve suni gübreler gibi

muhtelif organik matrislerdeki C, H, N, S ve O elementlerinin tayininde kullanılmaktadır.

- **İnce kesit alınması ve polarizan (petrografik) mikroskopla incelenmesi**

Kapadokya-Belisırma yöresinde yer alan çalışma materyali, stratigrafik tip kesit Belisırma-Merkez, ince kesit ve SEM-EDX yardımıyla araştırılmıştır. İnce kesit fotoğrafları Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde; "NIKON" marka, "ECLIPSE E 400 POL" model mikroskop ile çekilmiştir (Şekil Ek2.1).

- **Tarayıcı elektron mikroskopla (SEM) görüntülenmesi ve incelenmesi**

Diyatomitin petrografik özelliği, üretilen numunelerin matriks içeriği ve ince taneli kayaçların dokusunun belirlenmesi, ince kesit incelemelerinde mümkün olmadığından, bunları belirlemek için ayrıca SEM çalışmaları yapılmıştır. Bazı numuneler, bağlanmadan önce lokal ayrışma olayları ve bağlanma sonrası dağılma olayları içerebildikleri için SEM çalışmaları bu olayları takip etmede faydalı bir yöntemdir. SEM görüntüleri, Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuarında, "LEO 440" marka ve model tarayıcı mikroskop (Şekil Ek2.2) ile çalışılmıştır.

SEM görüntülerinin alınması için önce numune boyutu incelenmekte, boyut uygun değilse hassas alüminyum ve elmas uçlu bıçakla istenilen ölçülere uyarlanmaktadır. Daha sonra numune yüzeyi 1 mm düzeyinde parlatılmaktadır. Bu işlemi, diyatomit gibi iletken olmayan materyale iletkenlik kazandırma işlemi takip etmektedir. Bu amaçla, malzeme karbon, altın, paladyum gibi iletken bir tabaka ile kaplanmakta, vakumlanmakta ve kurutulduktan sonra mikroskop ile çalışılabilir duruma getirilmektedir.

- **Diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik (TG) analiz**

Bir malzemenin ısıl davranış özellikleri termal analizler ile belirlenmektedir (Stucki ve ark. 1988). Termal analizlerin en yaygın olarak kullanılanları diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik (TG) analizdir (Wendlandt ve Collins, 1986). Analizlerin yapılması için, malzeme örneği çok ince dane boyutu elde etmek üzere öğütülmüş ve homojen bir dağılım elde etmek amacıyla 150 mikrometre göz açıklıklı elekten elenmiştir. Daha sonra saf su ile yıkanmış ve kurutulmuştur. DTA ve TG analizleri Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde "PERKINELMER" marka cihaz ile yapılmıştır (Şekil Ek2.12).

- **X ışınları difraktometresi (XRD) analizi**

X ışınları kırınımı (XRD) sistemi, çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı anorganik ve kristalin maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Yöntem, süper iletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, korozif maddeler, çelik, kaplama malzemeleri, maden analizleri, toprak analizleri, bazı boyar maddeler, pigmentler, çimentolar, doğal veya yapay mineraller, herhangi bir malzemenin içerdiği bileşik veya elementlerin tayini, inorganik polimerler, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırılması, bazı kristalin veya amorf kompleks bileşiklerin incelenmesi gibi bir çok konuda yaygın kullanım alanına sahiptir. Numunelerin XRD analizi de yine, Erciyes Üniversitesi, Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yapılmıştır (Şekil 4.20). Analizde, "BRUKER AXS D8 ADVANCE " model cihaz kullanılmıştır (Şekil Ek2.13).

3.2.2. Fiziksel-mekanik deneyler

- **Birim hacim ağırlık tayini**

Numunelerin birim hacim ağırlıkları TS EN 772-13'e göre elde edilmiştir. Bunun için önce birimlerin, kuru birim ağırlıkları ($m_{dry.u}$) tespit edilmiştir. Kuru birim ağırlıklarının tespiti, numunelerin 100 ± 5 ºC sıcaklığa ayarlanmış hava dolaşımlı etüvde değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulması yoluyla yapılmıştır. Değişmez kütleye ulaşılması, kurutma esnasında en az 24 saat aralıklarla yapılan tartımlarda belirlenen kütleler arası farkın, toplam kütlenin %0.2'sinden az olmasıyla anlaşılmıştır. Daha sonra numunelerin brüt hacimleri TS EN 772-16 ya göre ($V_{g.u}$), birimlerin uzunluk, genişlik ve yükseklik ölçülerinin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Numunelerde harçla dolacak şekilde özel bir boşluk bırakılmadığı için hesaplanan brüt hacimlerinden bu tür boşluk düşülmesine gerek kalmamıştır. Bu şekilde bulunan kuru birim ağırlıkları, brüt hacimlere bölünerek birim hacim ağırlıklar ($\rho_{g.u}$) hesaplanmıştır. Altışar adet numune birim hacim ağırlığının aritmetik ortalaması alınarak o gruba ait birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Birim hacim ağırlık bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\rho_{g.u} = \frac{m_{dry.u}}{V_{g.u}} \ (g/cm^3) \qquad (3.1)$$

- **Basınç dayanımı**

Basınç dayanımı testleri için, numuneler önce TS EN 772-1'de belirtilen "Hava kurusuna şartlandırma" yöntemiyle, laboratuar ortamında değişmez ağırlığa ulaşana kadar bekletilerek şartlandırılmıştır. Şartlandırma, numunelerin 24 saatten az olmayan zaman aralıklarıyla tartılmasıyla belirlenen, kütleler arası farkın toplam kütlenin % 0.2'sinden az olması esasına göre yapılmıştır. Aynı standartta verilen yöntemler doğrultusunda, istenen yükleme hızı limitlerinde yükleme yapılarak altışar adet numune basınç dayanım testine tabi tutulmuş (Şekil Ek2.8) ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun basınç dayanımı (σ_b) aşağıda verilen bağıntı yardımı ile elde edilmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} (N/mm^2) \qquad (3.2)$$

Burada σ_b basınç dayanımını, P kırılma yükünü, A ise kuvvet uygulanan yüzey alanını ifade etmektedir.

- **Eğilme momenti**

Seçilen tutkal/diyatomit oranlı karışımdan 40×40×160 mm boyutlarında özel numuneler dökülmüş ve Niğde Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet göstermekte olan Kapadokya Yapı Kimyasalları A.Ş. Laboratuarında (Şekil Ek2.14) ölçülmüştür. Numunelerin ortalama eğilme momenti (σ_e) aşağıda verilen bağıntı kullanılarak tespit edilmiştir.

$$\sigma_e = \frac{1,5 \times P \times L}{b \times d^2} (N/mm^2) \qquad (3.3)$$

Burada σ_e eğilme dayanımı, P kırılma yükü, L mesnet aralığı, b kalıbın iç boyut yüksekliği, d kalıbın iç boyut uzunluğudur.

- **Özgül kütle tayini**

Numunelerin özgül kütlesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Laboratuarı'nda ölçülmüştür. Ölçüm işleminde TS 699 numaralı standart esas alınmıştır. Bu standarda göre, örneği temsil edecek şekilde, değişik parçalardan kırılarak alınan toplam olarak en az 2 kg kadar numune, tamamı göz açıklığı 0.2 mm olan kare gözlü elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Oda sıcaklığındaki su ile tamamen doldurulmuş piknometre (Şekil Ek2.15), kapağı kapatıldıktan ve üzerindeki su damlaları kuru bir bezle alındıktan sonra

0.01 gram hassasiyetle tartılmıştır (G_{ps}). Piknometre içindeki su tamamen boşaltıldıktan ve etüvde kurutulup soğutulduktan sonra kapağı ile birlikte tekrar tartılarak piknometre kütlesi bulunmuştur (G_p). Kurutulup soğutulmuş olan numuneden 250 g alınmış, kuru bir huni yardımıyla piknometre içine konulmuş ve kapağı ile birlikte 0.01 gram hassasiyetle tartılmıştır (G_{pn}). Daha sonra, içinde deney örneği bulunan piknometre 1/4 'üne kadar su ile doldurulmuştur. Bu işlemden sonra numune taneleri içinde hava kalmaması için vakum pompası ile piknometrenin havası alınmış, sonra tamamen su ile doldurulmuş ve 0.01 gram hassasiyetle tartılmıştır (G_{pns}). Bu veriler elde edildikten sonra, aşağıdaki bağıntı yardımıyla numunenin özgül kütlesi (d_o) tespit edilmiştir.

$$d_0 = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_s)} \quad (g/cm^3) \qquad (3.4)$$

- **Rutubet tayini**

Rutubet tayini deneyi, TS EN 772-10 numaralı standart esas alınarak yapılmıştır. Nem içeriğini bulmak için ise, altı adet 68×68×60 mm boyutlarında numune kullanılmıştır. Bu standarda göre numuneler kurutulmadan önce tartılmış (m_{os}), daha sonra sıcaklığı 105 ± 5 °C sıcaklığa ayarlanmış, havalandırmalı etüvde, değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuş ve tartılmıştır ($m_{dry.s}$). Değişmez kütleye ulaşılması, kurutma esnasında 24 saat aralıklarla düzenli olarak yapılan tartımlarla belirlenen kütleler arasındaki farkın, toplam kütlenin %0,2'sinden daha az olmasıyla anlaşılmıştır. Elde edilen ölçümler ve aşağıdaki bağıntı yardımı ile nem içeriği (W_s) hesaplanmıştır.

$$W_s = \frac{m_{o.s} - m_{dry.s}}{m_{dry.s}} \times 100 \qquad (3.5)$$

- **Kılcallık (kapilarite) katsayısı**

Numune kapiler su emme katsayısı TS EN 772-11'e göre, standartta verilen kurutma, tartma ve hesaplama yöntemlerine göre yapılmıştır. Deney için üçer adet numuneden oluşan iki grup numune kullanılmıştır. Numunelerin üst kısmı bir dikdörtgen prizma elde edilecek şekilde kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Her grup birlikte tartılmış ve alınan numuneler 105 ± 5 °C sıcaklıktaki havalandırmalı etüvde değişmez kütleye ($m_{dry,s}$) ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Daha sonra, numuneler oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda suya batırılacak yüzeyi ölçülmüş ve brüt yüzey alanı (A_s) belirlenmiştir. Numuneler, yüzeyleri mesnet elemanı üzerine oturacak ve tepsinin tabanından yukarıda ve suya 5 mm ± 1 mm derinlikte batacak şekilde yerleştirilmiş ve deney boyunca bu şekilde

tutulmuştur. Su seviyesi, deney süresi (t_{so}) boyunca sabit tutulmuştur ve suya temas eden numunelerden buharlaşmayı önlemek için içerisinde su bulunan tepsinin üzeri kapatılmıştır. Numuneler deney süresi sonunda tepsiden alınmış, yüzeylerindeki serbest su kurulanmış ve tartılmıştır ($m_{so,s}$). Kapiler su emme katsayısı (C_{ws}), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^3 \quad [g/(m^2 \times s^{0,5})] \qquad (3.6)$$

- **Su emme**

Numunelerin su emme yüzdesi, TS 699'a göre bulunmuştur. Numuneler yüzeyleri yıkanmış ve içerisinde 20 ± 5 ºC su bulunan uygun yükseklikte ve derinlikte bir kap içerisine, yüksekliklerinin yaklaşık 1/4'üne kadar daldırılmışlardır. Bu durumda 1 saat bekletildikten sonra 1/2'sine kadar su içinde kalacak şekilde su ilave edilmiş ve böylece 1 saat kadar daha bekletilmişlerdir. Aynı şekilde 3/4'üne kadar suya batacak şekilde, aynı sıcaklık aralığında bulunan su ilave edilmiş ve bu durumda da 1 saat bekletilmiş, daha sonra tamamen su içerisine batacak şekilde su ilave edilmiştir. Bu durumda ise 48 saat bekletilmiştir. Bu süre içerisinde kabın içindeki suyun seviyesinin, numunelerin 1,5~2 cm üzerinde kalması sağlanmıştır. 48 saat sonra numuneler sudan çıkarılmış ve ıslatılıp sıkılmış bir bez ile üzerlerindeki su artıkları temizlenmiş ve beklemeden 0,1gram hassasiyetle tartılmıştır (G_d). Numuneler tekrar suya daldırılmışlar ve değişmez kütleye gelene kadar suda bekletilmişlerdir. Sonra suya doygun numuneler Şekil Ek2.16 verilen Archimedes terazisinde 0,1 gram hassasiyetle tartılmış ve su içindeki kütleleri bulunmuştur (G_{ds}). Daha sonra, numuneler etüv kurusu olarak değişmez kütleye kadar kurutulmuş ve desikatör içinde soğutulduktan sonra 0,1 gram hassasiyetle tartılıp kütleleri bulunmuştur (G_k). Bu veriler alındıktan sonra numunenin kütlece su emme yüzdesi (S_k), aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunmuştur.

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} .100 \ (\%) \qquad (3.7\ a)$$

Hacimce su emme yüzdesi (S_h) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} .100 \ (\%) \qquad (3.7\ b)$$

- **Görünür porozite**

Bir malzemenin hacimce su emme oranı aynı zamanda o malzemenin görünen porozitesidir.

- **Kompasite**

Kompasite, bir malzemenin doluluk oranıdır. Numunelerin kompasite değeri, birim hacim ağırlığı (d_h) ve birim özgül ağırlığından (d_0) yararlanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmuştur.

$$k = \frac{d_h}{d_0} .100 \quad (\%) \qquad (3.8)$$

- **Porozite**

Porozite, malzemedeki boşluk oranıdır. Numune porozite değeri, birim hacim ağırlığı (d_h) ve birim özgül ağırlığından (d_0) yararlanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$P_y = 1 - \frac{d_h}{d_0} .100 \quad (\%) \qquad (3.9)$$

- **Doyma derecesi**

Doyma derecesi (D), malzemenin hacimce su emme değerinin (S_h), porozitesine oranının yüzde olarak değeridir. Bu değerin %80'den küçük olması, malzemenin donmaya karşı dayanıklı olduğunu gösterir (Eriç 1994). Doyma derecesi bağıntısı aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$D = \frac{S_h}{P_y} .100 \quad (\%) \qquad (3.10)$$

- **Dona dayanıklılık**

Numuneler TS EN 772-18 numaralı standartta belirtildiği şekilde, suya doyurulup şartlandırıldıktan sonra, -15 °C de 2 saat süreyle dondurulup, 20±5 °C sıcaklıktaki suda en az bir saat süreyle çözdürülmüşler ve tekrar donmaya bırakılmışlardır. Bu şekilde 50 çevrim uygulanmış ve deney sonrası çıplak gözle gözlem ve ayrıca basınç dayanım testi yapılmıştır.

- **Isı iletkenliği**

Malzemenin ısı iletim katsayısını ölçmek için bu kez, seçilen tutkal/diyatomit oranlı örneğe ait karışım oranları ile 500×500×70 mm boyutlarında yeni bir numune dökülmüş ve 110 °C pişirme sıcaklığında pişirilmiştir. Üretilen örneğin ısı iletim katsayısı, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuarında Şekil Ek2.17'de verilen cihaz yardımıyla ölçülmüştür.

- **Yangına dayanıklılık**

Numuneler, sıcaklık 500 ºC'a kadar tedricen artırılarak yangına karşı dayanıklılık açısından test edilmişlerdir.

- **Su buharı geçirgenliği**

Malzemenin buhar geçirgenliği analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuarında ölçülmüştür.

- **Ses yutuculuk analizi**

Ses yutuculuk analizleri de Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuarında ölçülmüştür.

4. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Cevherinden temin edilen diyatomit, değirmende öğütülerek, deneylerde 500 µm kare göz açıklıklı elekten geçen malzeme kullanılmıştır. Hammadde, temin edildiği cevherden iri parçalar halinde elde edilebilmektedir. Laboratuar ortamında bulunan, yatay eksenli bilyeli değirmenin maksimum malzeme kabul çapı 15 mm olduğu için, hammadde çekiçle parçalanarak önce bu iriliğe getirilmiştir (Şekil 4.1a, b, c). Bu iriliğe getirilen malzeme, Şekil Ek2.7'de görülen yatay eksenli bilyeli değirmen ile 60 devir/dakika hızda, 25 dakika süreyle öğütülmüştür. Öğütülen malzeme değirmenden alınarak, 500 µm kare göz açıklıklı elekten elendikten sonra alta geçen malzeme depolanmıştır. Numunelerin oluşturulmasında kullanılan diyatomitin granülometrik dağılımı, Niğde Sinpaş A.Ş. Kalsit Tesisleri Laboratuarında, "SYMPATEC HELOS BF" marka ve model bir cihazla ölçülerek Şekil 4.2 ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Metot bölümünde de değinildiği gibi çalışma, çimento ve üre-formaldehit bağlayıcılı olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada çimento bağlayıcılı numuneler oluşturularak çimentonun diyatomit ile ilişkilerinin yeniden irdelenmesi amaçlanmıştır.

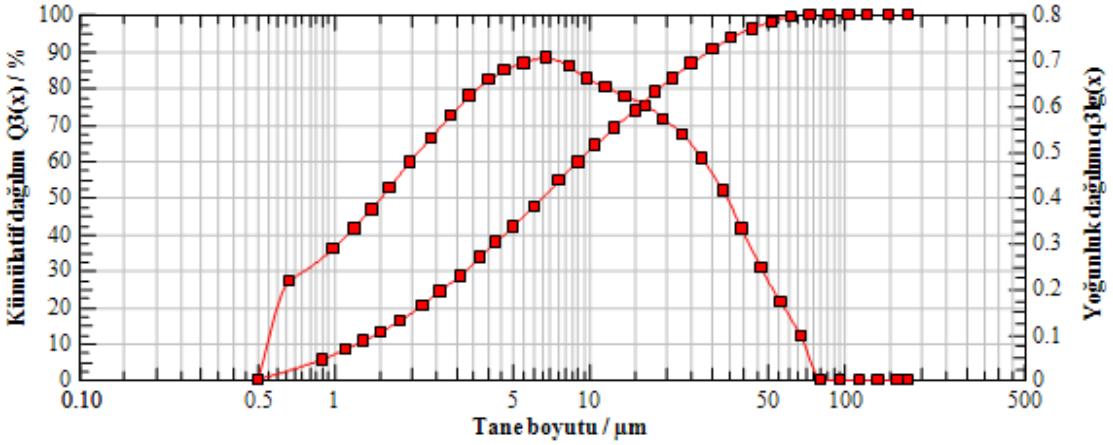


a b c

Şekil 4.1.a. Ocaktan elde edildiği hali ile diyatomit, **b.** Öğütme öncesi el ile ufalanmış diyatomit **c.** Öğütülmüş diyatomit; Belisırma- Güzelyurt Niğde

4.1. Çimento Bağlayıcılı Numuneler

Çimento bağlayıcılı olarak üretilen bütün numuneler, 100x100x100 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Çimento miktarları, 500 µm elekten geçen diyatomite göre hacimce %10, %20, %30 ve %40 çimento/diyatomit (ç/d) oranlarında seçilmiştir.



Şekil 4.2. Öğütülmüş ve elenmiş diyatomitin incelik dağılımı

Çizelge 4.1. Öğütülmüş ve elenmiş diyatomitin incelik dağılımı

Kümülatif							
x_0/µm	Q_3/%	x_0/µm	Q_3/%	x_0/µm	Q_3/%	x_0/µm	Q_3/%
0,90	5,52	3,70	33,21	15,00	73,83	61,00	99,27
1,10	8,01	4,30	37,48	18,00	78,59	73,00	100,00
1,30	1,42	5,00	41,92	21,00	82,41	87,00	100,00
1,50	1,73	6,00	47,41	25,00	86,48	103,00	100,00
1,80	16,05	7,50	54,23	30,00	90,31	123,00	100,00
2,20	20,20	9,00	59,66	36,00	93,59	147,00	100,00
2,60	24,04	10,50	64,07	43,00	96,14	175,00	100,00
3,10	28,44	12,50	68,92	51,00	97,95		
Yoğunlık Dağılımı (log.)							
x_m/µm	$q_3$lg	x_m/µm	$q_3$lg	x_m/µm	$q_3$lg	x_m/µm	$q_3$lg
0,67	0,21	3,39	0,62	13,69	0,62	55,78	0,17
0,99	0,29	3,99	0,65	16,43	0,60	66,73	0,09
1,20	0,33	4,64	0,68	19,44	0,57	79,69	0,00
1,40	0,37	5,48	0,69	22,91	0,54	94,66	0,00
1,64	0,42	6,71	0,70	27,39	0,48	112,56	0,00
1,99	0,48	8,22	0,69	32,86	0,41	134,47	0,00
2,39	0,53	9,72	0,66	39,34	0,33	160,39	0,00
2,84	0,58	11,46	0,64	46,83	0,24		

x_0/µm, x_m/µm: Tane büyüklüğü (mikrometre), Q_3/%: Elekten geçen (%), q3lg: Yoğunluk (Logaritmik)

Diyatomit ve çimentonun her seri için, cm^3 olarak karışım içindeki bileşen hacimleri, kullanılan su miktarları, çökme değerleri ve kuru birim ağırlıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Numune hamuru hazırlanırken, diyatomit ve çimento masa üstü tipi mikserde kuru durumda karıştırıldıktan sonra; azar, azar su ilave edilerek plastik kıvama gelinceye kadar karıştırılmıştır. Her ayrı karışım oranında aynı çökme değerini elde edebilmek için artan çimento miktarı ile birlikte su miktarı da artırılmak zorunda kalmıştır. Plastik kıvamdaki numunelerin çökme değerleri ölçülerek, bütün numunelerin slump hunisinde çökme değerlerinin 7 civarında olmasına özen gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Karışımda bulunan malzeme miktarları

Çimento Miktarı (cm^3)	Diyatomit Miktarı (cm^3)	Su Miktarı (cm^3)	Çökme Değeri (Slump)
100	1000	700	7,00
200	1000	740	7,10
300	1000	770	7,10
400	1000	870	7,20

Çökme değeri ölçülen karışımlar, 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numune kalıplarına, 2 tabaka halinde doldurularak her tabakası şişleme çubuğu ile 25 vuruş yapılmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Kalıplarda 24 saat bekletilen numuneler, bu süre sonunda kalıplardan çıkartılarak laboratuarda, 20±2 °C ortam sıcaklığında kür havuzuna alınmıştır. Numuneler, test öncesi göz ile kontrol edildikten sonra, basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı, ultra-ses geçiş süresi ve görünen porozitesi üçer numune üzerinde belirlenerek, ortalama değerleri alınmıştır.

Basınç dayanım değerleri; 7, 28, 60 ve 150 günlük numunelerde TS EN 1354'e göre 200 ton kapasiteli pres aleti ile belirlenmiştir (Şekil Ek2.8). Ultra ses geçiş hızı, direkt ölçüm yöntemiyle, numunelerin karşılıklı kenarlarından "CONTROLS E 48" model ultra ses cihazı ile ölçülerek belirlenmiştir. Birim hacim ağırlıkları, 7 ve 28 günlük numuneler için kür havuzundan çıkartılıp, 24 saat açık havada bekletildikten sonra tartılarak belirlenmiştir. 60 ve 150 günlük numuneler ise 28 günlük kürden sonra laboratuar ortamında açık havada bekletilerek hava kurusu durumuna getirilmiş ve bu şartlarda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Test sonuçlarına göre, ileri yaşlardaki numunelerin 7 günlük numunelere göre ultra ses geçiş hızlarında artış görülmüştür. Ayrıca, 28 günlük, 60 günlük ve 150 günlük numunelerin birim hacim ağırlıklarında zamanla doğru orantılı olarak azalma

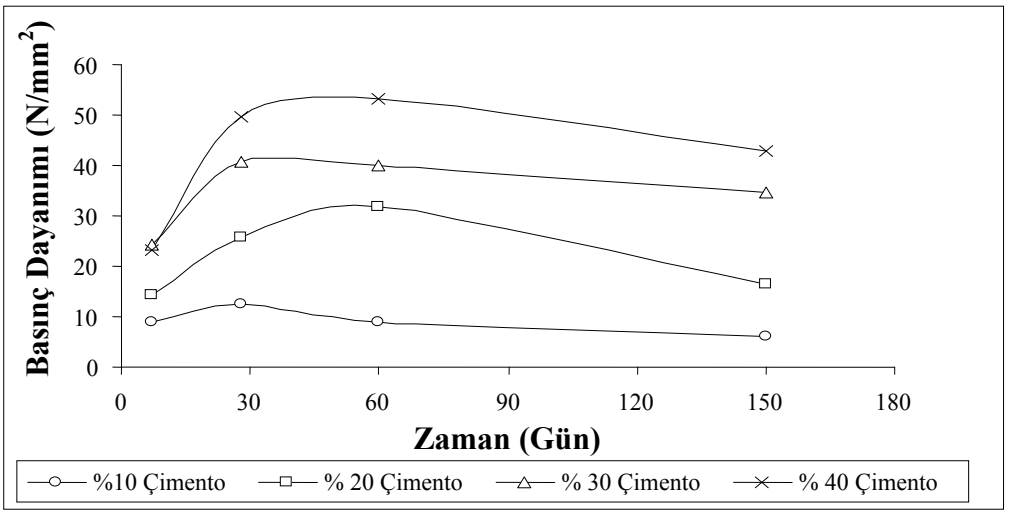
gözlenmiştir. Her iki durum da, gerek karışım esnasında gerekse kür sırasında numune bünyesine giren serbest suyun, genç numunelerde halen bünyede tutuluyor olmasıyla daha yoğun bir yapı oluşturmasından; yaşlı numunelerde de bu suyun zamana bağlı olarak bünyeyi terk etmesinden kaynaklanmıştır.

Çizelge 4.3 Çimento bağlayıcılı numunelerin 7, 28, 60 ve 150 günlük değerleri

Çimento Miktarı (%)	Birim Ağırlık (g/cm³)	Ultra Ses Geçişi (km/sn)	Basınç Dayanımı (N/mm²)	Porozite	Göz İle Muayene
7 Günlük Numuneler					
10	1,25	1,00	9,00	58,00	Yüzeyler son derece düzgün, deformasyon yok
20	1,27	1,22	14,20	51,00	
30	1,33	1,22	24,30	42,00	
40	1,37	1,22	23,20	38,00	
28 Günlük Numuneler					
10	1,24	1,22	12,50	59,00	Yüzeyler düzgün, deformasyon yok
20	1,24	1,22	25,60	54,00	
30	1,31	1,22	40,80	49,00	
40	1,35	1,22	49,50	42,00	
60 Günlük Numuneler					
10	0,75	155,00	8,90	65,00	Yüzeylerde hafif kılcal çatlak oluşumları ve pullaşma başlangıcı, ayrıtlarda deformasyon başlangıcı var. %10 çimentolu numunelerde ileri düzeyde pullaşma oluştu
20	0,91	63,70	31,80	59,00	
30	0,98	64,30	40,10	52,00	
40	1,08	56,40	53,10	45,00	
150 Günlük Numuneler					
10	0,63	-	6,20	65,00	Yüzeylerde ki çatlaklar ve pullaşma numunelerin çoğunda ileri düzeyde belirginleşti. %10 çimento oranlı numuneler dağılmış durumda.
20	0,71	100,7	16,50	59,00	
30	0,83	83,4	34,50	52,00	
40	0,95	61,3	42,90	45,00	

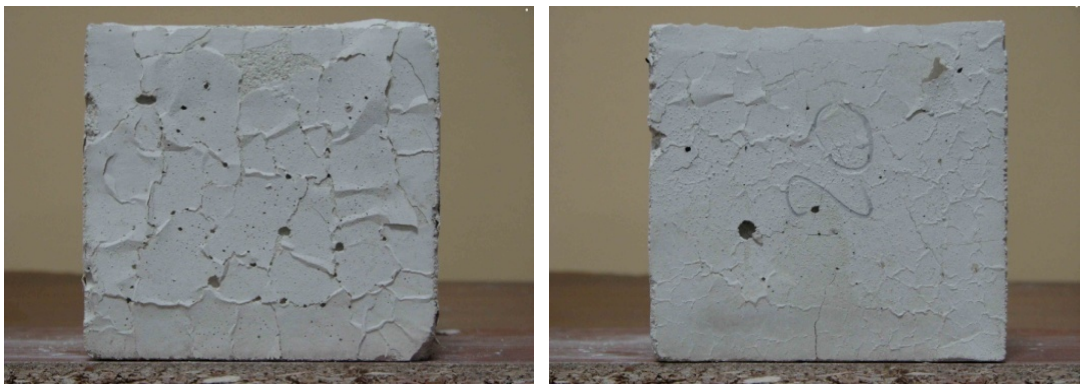
Üretilen numunelerin basınç mukavemetleri, 7 ve 28 günlük numunelerde beklenen sonucu destekler şekilde, artan çimento miktarına paralel olarak artış göstermiştir. Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'ten de takip edilebileceği gibi, 60 günlük basınç testlerinde; hacimce %20 ve %40 oranında çimento ihtiva eden numunelerde 28 günlük değerlere göre sınırlı bir artış gözlenirken, hacimce %10 çimento ihtiva eden numunelerin ortalama basınç gerilmelerinde % 28,8 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Ayrıca %30 çimento ihtiva eden numunede, sınırlı da olsa bir taşıma kapasitesi kaybı başlamıştır. 150 günlük basınç testlerinde ise taşıma kapasitesindeki keskin düşüşler, 60

günlük testlerde %10 ve % 30 çimento ihtiva eden numunelerde başladığı gözlenen taşıma kapasitesi kaybının, diğer numunelerde de başlayıp artmaya devam ettiğini göstermiştir.



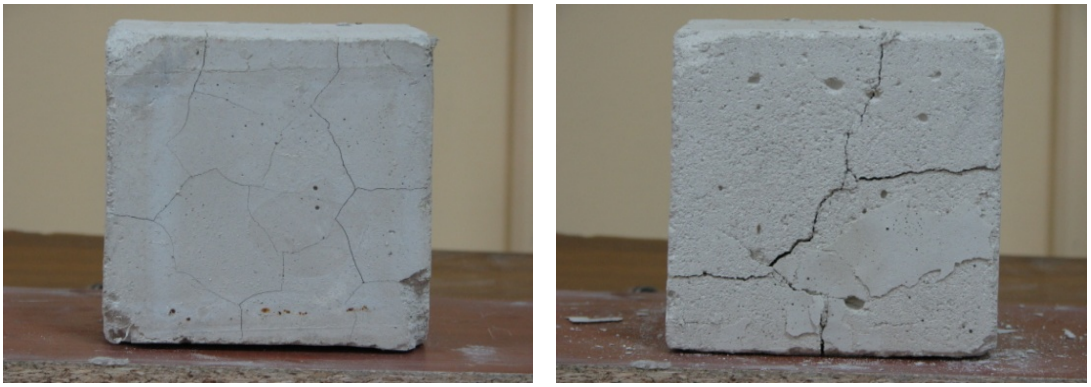
Şekil 4.3. Çimento bağlayıcılı numunelerde zamana bağlı basınç dayanımı değişimi

Numuneler üzerinde göz ile yapılan muayenelerde, 28 günlük kür süresince, suya doygun olmaları nedeni ile numunelerde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. Ancak, kür havuzundan alınıp, laboratuar ortamında açık havada bekletilen numunelerde; Şekil 4.4a, b ile 4.5a, b'de görüldüğü gibi, yine zamanla çimento oranının azlığı ile doğru orantılı olarak büyüyen kılcal çatlakların ve ayrıtlarda deformasyonların oluştuğu gözlenmiştir. Bu deformasyonlar, 150'inci günde çıplak gözle rahatlıkla görülebilir düzeye ulaşmıştır. Özellikle % 10 çimento kullanılan numunede ileri derecede pullaşmalar gelişmiş ve kütle kaybı başlamıştır.



a b

Şekil 4.4. %10 (a) ve %20 (b) çimento-diyatomit oranlı numuneler, 60 günlük.



a b

Şekil 4.5. % 40 (a) ve % 10 (b) çimento oranlı numuneler, 150 günlük

Basınç mukavemeti kaybı, numune yüzeyinde ileri derecede pullaşmalar, zamanla derinleşen ve kütle kaybına yol açan çatlaklar gibi tüm bu olumsuzlukların agrega reaksiyonundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Agrega reaksiyonu, çimento hammaddesi içinde bulunabilen Na_2O, K_2O gibi alkali oksitlerin, diyatomitin temel bileşeni olan aktif silis ile reaksiyona girmesi sonucu, bir silikat jeli oluşturmaları olgusu olarak tanımlanmaktadır. Agrega reaksiyonu, ilk kez ABD'de Stanton (1940) tarafından gözlenmiş ve "alkali agrega reaktivitesi" olarak tanımlanmıştır. Yine potasyum ve kalsiyumun şişme, genişleme yaparak uzun vadede beton kütlesinde önemli çatlaklar oluşturmaları (Bilgil 1994) ve beton mukavemetinde ciddi azalmalara neden olmaları da "alkali agrega reaktivitesi" nedeniyledir. Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneylerde ise, karışımın ana unsurunun diyatomit olmasından dolayı, "uzun vade" diye ifade edilen süreç, sadece 150 gün gibi çok kısa bir süreye düşmüştür.

Bu nedenle öğütülmüş diyatomitten çimento bağlayıcılı hafif yapı bloklarının üretiminin mümkün olmadığı anlaşılmıştır ve çimentodan farklı bir bağlayıcı denenmesine karar verilerek, üre-formaldehit deneylerde kullanılmak üzere bağlayıcı olarak seçilmiştir.

4.2. Üre-Formaldehit Bağlayıcılı Numuneler

Çalışmanın üre -formaldehit kullanılan aşamasında, hacimsel olarak %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50'ye kadar, dokuz değişik tutkal-diyatomit oranında numune grubu oluşturulmuştur. Her bir gruba ait numuneler, 80, 90, 100, 110, 120 ve 130 ºC olmak üzere altı değişik sıcaklık grubunda fırınlanmış, toplam 648 numune üretilmiştir.

Ayrıca %40, %45 ve %50 tutkal/diyatomit (t/d) oranlı numuneler üzerinde yapılan düşey eksendeki basınç gerilmesinin iyi sonuç vermesinden dolayı, bu sayıya ilaveten, 140 ºC'de sıcaklığın etkisini gözlemek için 36 adet numune daha hazırlanmıştır. Yine basınç mukavemetinden hareketle, optimum basınç dayanımının %40 t/d karışımında elde edilmesinden dolayı; sertleştirici/tutkal (s/t) oranlarının numuneler üzerindeki etkilerini gözlemek için %35, 45, 50 s/t oranlarında numuneler üretilmiştir. Her farklı t/d, s/t ve sıcaklık grupları için 12'şer numune olmak üzere toplamda 720 numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin altışar adedi basınç dayanım testlerinde kullanılmıştır.

Ayrıca, %40 t/d oranlı numunelerden 100x100x100mm ve 150x150x150 mm boyutlarında, bu boyutlarda üretilebilirliği denemek için onar adet numune üretilmiştir. Böylece üzerinde çalışılan üre-formaldehit bağlayıcılı numune sayısı toplamda 740 adet olarak gerçekleşmiştir.

Numune hamuru için malzemeler; önce tutkal ve sertleştirici hacimleri, sonra 500 μm göz açıklıklı elek ile elenmiş diyatomit hacimleri ölçülerek belirlenmiştir. Önce, bir spatula yardımı ile yeterince karıştırılarak miktarları belirlenen tutkal ve sertleştirici karışımı hazırlanmıştır. Bundan, çok yüksek bir sıvı emme gücü olan diyatomitin birbirine yeterince karıştırılmamış tutkalı ve sertleştiriciyi birbirinden bağımsız olarak soğurup bünyesine alması, dolayısı ile homojen olmayan bir sertleştirici-tutkal dağılımının önlenmesi amaçlanmıştır.

Sonra belirlenen miktarda diyatomit, bu sıvı karışıma eklenmiştir. Ölçülen tüm bu malzemeler, yine spatula yardımıyla ve el ile 13~15 dakika süreyle yoğrulmuştur. Bu aşamada hamurun belirli bir viskozite ve kıvamda elde edilmesine özen gösterilmeye çalışılmıştır. Hamur kıvamını sayısal olarak ifade edebilmek için, Vicat aygıtı kullanılmıştır (Şekil Ek2.9). Hamur, %10 ile 40 t/d oranlı örneklere kadar, aygıtın çubuğu 2~3 mm yukarıda kalacak kıvamda yoğrulmuştur. %45 ve 50 t/d oranlı örneklerde ise 0~1 mm boşluk kalmıştır. Serleştirici ve tutkal tepkimesinin başladığının göstergesi olan, gaz kabarcıkları oluşumunun başlaması ile yoğurma işlemi bırakılmış ve elde edilen hamur kalıplara yerleştirilmiştir.

Numune kalıpları bir kez kalıp ayırıcı eriyik ile sıvanmış, bu eriyik kalıp yüzeyinde kuruduktan sonra ince bir tabaka halinde sentetik kalıp yağı ile yağlanmıştır. Diyatomit hamuru, kalıp yüksekliğinin 1/3'ü kadar kabarma payı kalacak şekilde kalıplara yerleştirildikten sonra, spatula yardımı ile kalıbın içinde, kalıptaki hamurun yarı yüksekliğine kadar inecek şekilde şişlenerek yerleştirmede homojenlik sağlanmaya

çalışılmıştır. İçine hamur yerleştirilen kalıplar, vibrasyon etkisi sağlamak için zemine ritmik olarak vurulmak suretiyle en az yirmişer kez sarsılmıştır. Henüz plastik kıvamdaki hamuru ihtiva eden kalıplar, tutkal-sertleştirici tepkimesinin ilerlediğini gösteren gaz çıkışından dolayı oluşan hava kabarcıklarının daha da artmaya başladığı fazda, Şekil Ek2.10'da görülen önceden ısıtılmış etüve alınmıştır.

Laboratuar gözlemleri, tutkalın polimerizasyonunu tamamlayıp sertleşmesi için 3 saatin yeterli olduğunu gösterse de, numunenin bileşimindeki suyu tamamen salıvermesi için etüv, bu sıcaklıkta 24 saat süreyle çalışmak üzere ayarlanmıştır. 24 saat sonra etüv kapatılmış, ve numunelerin 1 saat kadar tedricen soğuması sağlanmıştır. Bu süre sonunda etüvden alınan numuneler, çelik kalıplarla birlikte, laboratuar ortamında kendi haline soğumaya bırakılmıştır. Bu şekilde 2 saat süreyle soğumaya bırakılan numuneler, kalıptan çıkarılmış, dikdörtgen prizma oluşturacak şekilde kesilmiş ve gerekli testler yapılmak üzere depolanmıştır (Şekil 4.6~4.7, Ek2.11). Daha sonra numuneler üzerinde gerekli deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar çizelge 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.6. Değişik tutkal-diyatomit oranlarında dökülmüş numunelerden bir grup



Şekil 4.7. %40 tutkal-diyatomit oranlarında dökülmüş ve kesilmiş numune örnekleri

Çizelge 4.4. Pişirme sıcaklıkları ve t/d oranlarına göre birim ağırlık ve basınç dayanım özeti

Diyatomit Miktarı (cm^3)	Tutkal Miktarı (cm^3)	Sertleştirici Miktarı (cm^3)	Tutkal Diyatomit Oranı (%)	Sertleştirici Tutkal Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Göz ile Muayene Bulguları
80 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,6	0,1	Tepkime tamamlanmadı. Tutkal homojen dağılmadı. Numunelerin alt kısmında beyaz bir katman oluşturarak yığıldı.
400	60	200	15	333,3	0,61	0,1	
400	80	188	20	235	0,62	0,1	
400	100	80	25	80	0,67	0,1	
400	120	78	30	65	0,64	0,1	
400	140	84	35	60	0,62	0,1	
400	160	64	40	40	0,6	2,3	
400	160	72	40	45	0,55	2,2	
400	160	80	40	50	0,53	2,1	
400	180	63	45	35	0,55	2,7	
400	200	50	50	25	0,57	3,7	
90 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,61	0,1	80 °C sıcaklıkta üretilen numunelere benzer, ancak daha az yoğun bir katmanlaşma oluştu.
400	60	200	15	333,3	0,62	0,1	
400	80	188	20	235	0,63	0,1	
400	100	80	25	80	0,65	0,1	
400	120	78	30	65	0,63	0,1	
400	140	84	35	60	0,72	0,1	
400	160	64	40	40	0,67	4,3	
400	160	72	40	45	0,64	3,1	
400	160	80	40	50	0,61	3	
400	180	63	45	35	0,63	2,7	
400	200	50	50	25	0,6	3,1	
100 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,61	0,1	90 ºC de üretilen numunelere benzer, ancak daha az yoğun bir katmanlaşma oluştu.
400	60	200	15	333,3	0,63	0,1	
400	80	188	20	235	0,65	0,1	
400	100	80	25	80	0,65	0,1	
400	120	78	30	65	0,63	0,1	
400	140	84	35	60	0,72	0,1	
400	160	64	40	40	0,67	4,3	
400	160	72	40	45	0,62	3,5	
400	160	80	40	50	0,61	3,2	
400	180	63	45	35	0,66	2,7	
400	200	50	50	25	0,55	2,7	

Diyatomit Miktarı (cm^3)	Tutkal Miktarı (cm^3)	Sertleştirici Miktarı (cm^3)	Tutkal Diyatomit Oranı (%)	Sertleştirici Tutkal Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Göz ile Muayene Bulguları
110 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,61	0,1	Katmanlaşma kayboldu. Numumeler daha homojen bir görünüm kazandı.
400	60	200	15	333,3	0,63	0,1	
400	80	188	20	235	0,65	0,1	
400	100	80	25	80	0,65	0,1	
400	120	80,4	30	67	0,74	0,1	
400	140	84	35	60	0,72	0,1	
400	160	64	40	40	0,7	3,7	
400	160	72	40	45	0,68	3,5	
400	160	80	40	50	0,65	3,2	
400	180	63	45	35	0,65	3,6	
400	200	40	50	20	0,65	0,1	
120 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,6	0,1	Katmanlaşma kayboldu. Numumeler daha homojen bir görünüm kazandı.
400	60	200	15	333,3	0,62	0,1	
400	80	188	20	235	0,63	0,1	
400	100	80	25	80	0,65	0,1	
400	120	80.4	30	67	0,74	0,1	
400	140	84	35	60	0,72	0,1	
400	160	64	40	40	0,68	3,7	
400	160	72	40	45	0,65	3,5	
400	160	80	40	50	0,63	3,2	
400	180	63	45	35	0,65	3,5	
400	200	40	50	20	0,65	0,1	
130 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	40	205	10	512,5	0,6	0,1	Katmanlaşma kayboldu. Numumeler daha homojen bir görünüm kazandı ancak yüzeyde gözle görülebilir çatlaklar oluştu.
400	60	200	15	333,3	0,61	0,1	
400	80	188	20	235	0,63	0,1	
400	100	80	25	80	0,65	0,1	
400	120	80.4	30	67	0,74	0,1	
400	140	84	35	60	0,72	0,1	
400	160	64	40	40	0,61	3,5	
400	160	72	40	45	0,6	3,3	
400	160	80	40	50	0,59	3,1	
400	180	63	45	35	0,65	3,5	
400	200	40	50	20	0,65	0,1	
140 °C pişirme ısısında üretilen deney numuneleri							
400	160	80	40	50	0,5	3	%45 ve 50 t/d oranlı numunelerde iri çatlaklar oluştu.
400	180	63	45	35	0,45	0,1	
400	200	36	50	18	0,43	0,1	

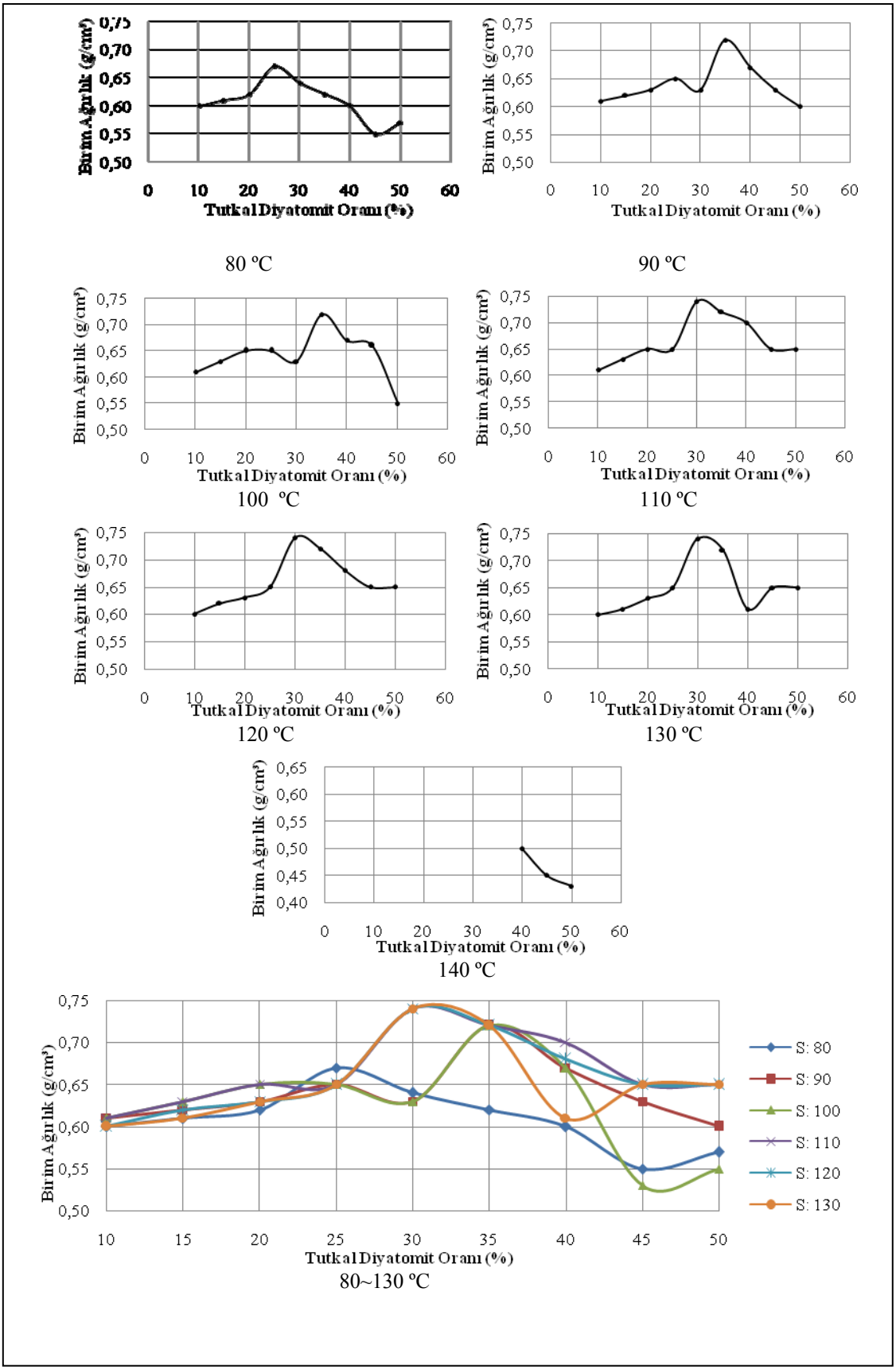
Çalışmada, t/d oranlarına göre üretilen ürünlerin birim hacim ağırlıkları arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, 80 °C pişirme sıcaklığında üretilen numunelerin birim ağırlıkları 0,53 ile 0,67 g/cm^3 arasında değişmektedir. En küçük birim hacim ağırlığı %40 t/d oranında, en yüksek birim hacim ağırlığı ise %25 t/d oranında gerçekleşmiştir. Gözle yapılan incelemelerde ise bu sıcaklıkta tutkal-diyatomit dağılımı homojen olarak gerçekleşmemiş, tutkal numunelerin alt kısımlarında daha beyaz bir katman oluşturarak yığılmıştır.

90 °C pişirme sıcaklığında üretilen deney numunelerinin tutkal-diyatomit oranları ile birim hacim ağırlıkları arasında da lineer bir ilişki kurulamamıştır. Numunelerin en küçük birim hacim ağırlığı %50 t/d oranında 0,60 g/cm³, en yüksek birim hacim ağırlığı ise %35 t/d oranında 0,72 g/cm^3 olarak elde edilmiştir. Gözle yapılan incelemelerde bu sıcaklıkta da tutkal-diyatomit dağılımı homojen olarak gerçekleşmemiş, tutkal numunelerin alt kısımlarında beyaz bir katman oluşturarak yığılmıştır.

100 °C pişirme sıcaklığında, numunelerin en küçük birim hacim ağırlığı 0,55 g/cm³ olarak %50 t/d oranında, en yüksek birim hacim ağırlığı 0,72 g/cm^3 değeri ise %35 t/d oranında gerçekleşmiştir. Gözle yapılan incelemelerde, bu sıcaklıkta tutkal-diyatomit dağılımı 80 ve 90 °C sıcaklığa göre oldukça homojen bir yapıda gerçekleşmiştir.

110 °C pişirme sıcaklığında, numunelerin en küçük birim hacim ağırlığı 0,61 g/cm³ olarak %10 t/d oranında, en yüksek birim hacim ağırlığı ise 0,74 g/cm^3 olarak %30 t/d oranında elde edilmiştir. Gözle yapılan incelemelerde, tutkal-diyatomit dağılımının 100 °C sıcaklığa göre, daha homojen yapıda ve daha homojen boşluklu olduğu belirlenmiştir.

120 ve 130 °C pişirme sıcaklığında, 110 °C pişirme sıcaklığında belirlenen birim hacim ağırlığına yakın sonuçlar elde edilmiştir. 120 ve 130 °C pişirme sıcaklığında, en düşük birim ağırlık 0,60 g/cm³ ile %10 t/d oranlı numunede, en yüksek birim hacim ağırlığı ise 0,74 g/cm³ ile %30 t/d oranlı numunelerde gerçekleşmiştir. Gözle yapılan incelemelerde 110 °C'deki gibi homojen yapı gözlenmiştir. Ancak 130 °C de pişirilen numunelerin eksenel kesit incelemelerinde, özellikle merkezde kılcal çatlaklara rastlanmıştır. Bu durumun, bu pişirme sıcaklığında organik kökenli malzemelerin kızdırma kaybından kaynaklandığı düşünülebilir.



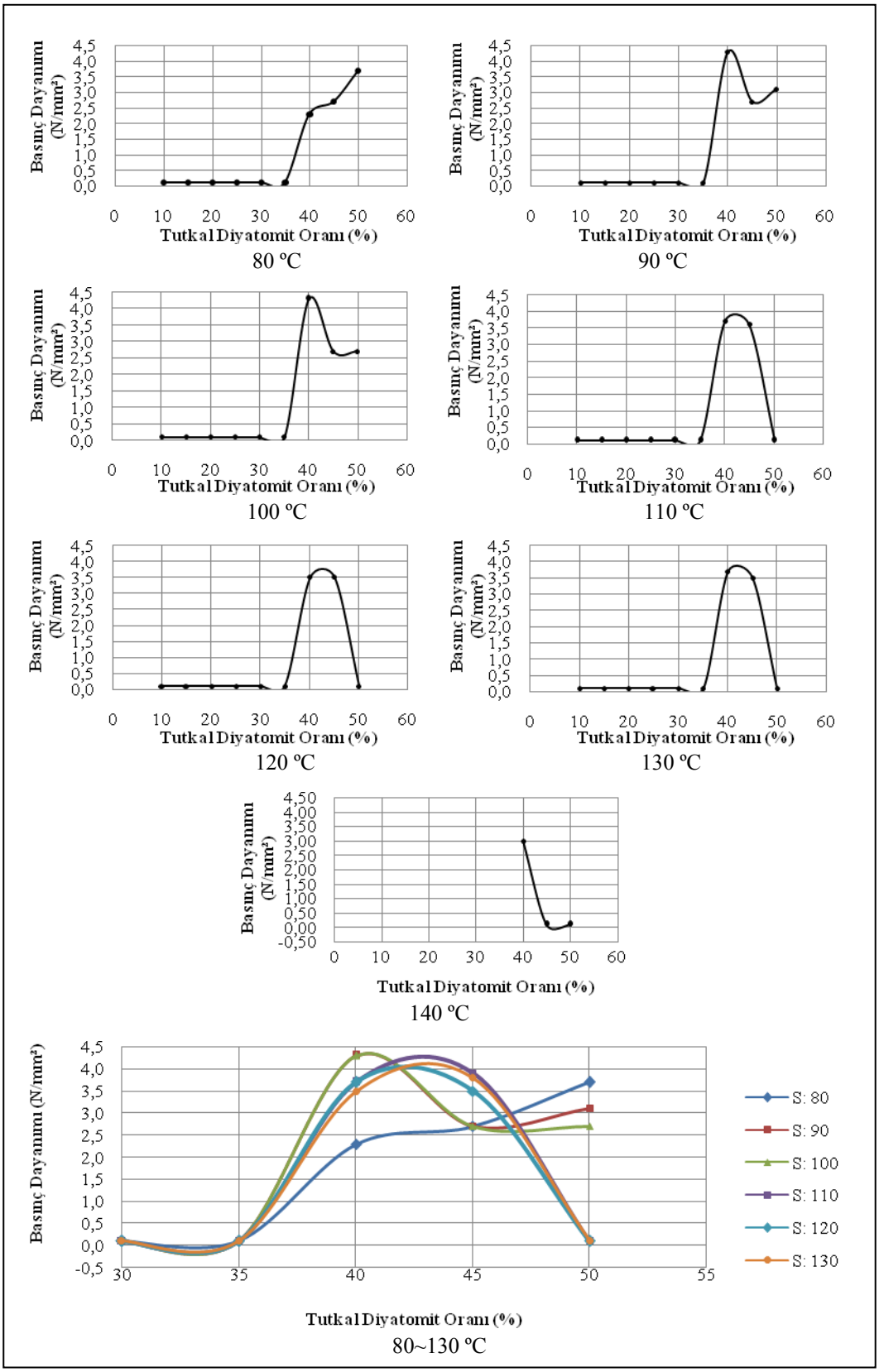
Şekil 4.8. Pişirme sıcaklıklarına göre tutkal/diyatomit oranı ile birim ağırlık ilişkisi

130 °C sıcaklıkta pişirilen numunelerin eksenel kesitleri üzerindeki gözle yapılan incelemelerde karşılaşılan kılcal çatlaklar üzerinde, pişirme sıcaklığının etkilerini gözlemek için, basınç mukavemetinin olumlu sonuçlar verdiği %40, 45 ve 50 t/d oranlı karışımlarla, ek olarak 140 °C pişirme sıcaklığında da numuneler üretilmiştir. T/d oranları aynı kalmasına rağmen, 140 °C lik pişirme sıcaklığının etkisiyle numunelerin daha da genleştiği görülmüştür. %40, 45 ve 50 t/d oranlarında birim hacim ağırlıkları sırasıyla 0,50, 0,45 ve 0,43 g/cm³ olmuştur. Numuneler üzerinde gözle yapılan incelemelerde, %50 t/d oranlı numunenin her yönde çatlaklar oluşturarak dağılma noktasına geldiği gözlenmiştir. %45 t/d oranlı numunede de gözle görülür derin çatlaklar oluşmuştur. %40 t/d oranlı numunede ise eksenel kesitlerin merkezinde görünür münferit kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

Çalışmada basınç mukavemetleri ile t/d oranları arasındaki ilişki de incelenmiş ve Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi, % 35 e kadar olan t/d oranı, farklı pişirme sıcaklıklarında dahi basınç mukavemeti üzerinde hiçbir olumlu etki göstermemiştir. Bu t/d oranlarına sahip numuneler, basınç dayanımı gösteremeyerek testlerin daha başlangıcında dağılmışlar ve rapor edilecek bir değer okunamamıştır. Bu nedenle basınç dayanım değerleri, bu numuneler için tablolar ve grafiklerde 0,1 N/mm^2 olarak verilmiştir. Numuneler, ancak %40 t/d oranından sonra önemli derecede mukavemet kazanarak, kabul edilen bütün pişirme derecelerinde minimum 2,3 N/mm^2'nin üzerinde bir basınç dayanımına ulaşılmıştır. Basınç mukavemeti değerlerinin %40 t/d oranında düşey yönde sıçramasının nedeni, eksenel basınç gerilmelerinin tespitinde kullanılan presin 1,0 N/mm^2 basınç gerilmelerinin altındaki değerleri okuyamayışıdır.

80 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranlarına göre basınç mukavemeti değerleri, % 35 e kadar olan t/d oranında 1,0 N/mm^2'nin altında gerçekleşmiş ve %50 t/d oranlı numune 3,70 N/mm^2 ile karışımda en yüksek basınç dayanımına ulaşmıştır. En düşük basınç mukavemeti ise 2,30 N/mm^2 ile %40 t/d oranlı numunede gerçekleşmiştir. %45 t/d oranlı numune basınç dayanımı 2,70 N/mm^2 olmuştur.

90 °C pişirme sıcaklığında, %35 ve altındaki t/d oranlarına sahip numunelerde yine basınç gerilme değerleri okunamamıştır. En küçük basınç gerilme değeri %45 t/d oranlı numunede 2,70 N/mm^2 olmuştur. En yüksek basınç gerilme değeri %40 t/d oranlı numunede 4,30 N/mm^2 dir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Pişirme sıcaklıklarına göre tutkal/diyatomit oranı ile basınç dayanımı ilişkisi

100 °C pişirme sıcaklığında, %35 ve altındaki t/d oranlarına sahip numuneler 80 ve 90 °C pişirme sıcaklığındaki numunelerin, basınç gerilmesine karşı gösterdiği davranışı sergilemiştir. En düşük basınç mukavemeti %45 ve %50 t/d oranlı numunelerde 2,70 N/mm^2, en yüksek basınç mukavemeti %40 t/d oranlı numunede 4,30 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

110 °C pişirme sıcaklığında, %35 ve altındaki t/d oranlarına sahip numunelerde de basınç gerilme değerleri okunamamıştır. Basınç mukavemeti %40 t/d oranlı numunede 3,70 N/mm^2 ve %45 t/d oranlı numunede 3,60 N/mm^2 olarak gerçekleşmiş, %50 t/d oranında ise önceki pişirme sıcaklığında ulaşılan değerlerin aksine dayanım gösteremeden dağılmıştır (Şekil 4.9).

120 °C pişirme sıcaklığında, %35 ve altındaki t/d oranlarına sahip numunelerde basınç gerilme değerleri okunamamıştır. Basınç mukavemeti %40 t/d oranlı numunede 3,70 N/mm^2 ve %45 t/d oranlı numunede 3,50 N/mm^2 olarak gerçekleşmiş, %50 t/d oranında ise 110 °C pişirme sıcaklığında olduğu gibi dayanım gösteremeden dağılmıştır. Buna sebep olan faktör, tutkal miktarının fazla olması ve numunenin yüksek sıcaklıkta ısı şoklaşmasına maruz kalması ile oluşan farklı gerilmelerdir. Çünkü, pişirilen numunelerin eksenel kesit incelemelerinde, özellikle merkezde kılcal çatlaklara rastlanmıştır.

130 °C pişirme sıcaklığında, %35 ve altındaki t/d oranlarına sahip numunelerde, diğer numunelerde olduğu gibi basınç gerilme değerleri okunamamıştır. %40 ve %45 t/d oranlı numuneler 3,5 N/mm² dayanım göstermişler, %50 t/d oranında da basınç gerilme değeri okunamamıştır.

Çalışmada esas alınan 130 °C ye kadarki pişirme ısılarına ilave olarak, pişirilen numunelerin eksenel kesitleri üzerindeki gözle yapılan incelemelerde rastlanan kılcal çatlaklar nedeniyle, pişirme ısısının basınç gerilmesi üzerindeki etkilerini gözlemlemek için, 140 °C pişirme sıcaklığın denenmesine karar verilmiştir. Basınç mukavemetinin olumlu sonuçlar verdiği %40, 45 ve 50 t/d oranlı karışımlarla, yeniden numuneler üretilmiştir. 140 °C lik pişirme ısısının etkisiyle numunelerin daha da genleştiği görülmüştür. %40, 45 ve 50 t/d oranlı karışımlarla oluşturulan numuneler üzerinde basınç testleri uygulandığında, sadece %40 t/d oranlı karışımda basınç gerilmesi değeri okunabilmiş ve basınç mukavemeti 3,0 N/mm² olarak alınmıştır. Numunede, eksenel kesitlerin merkezinde görünür münferit kılcal çatlaklar oluşmuş, ancak eksenel yük altında verilen gerilme değerine ulaştıktan sonra kılcal çatlaklar derinleşerek

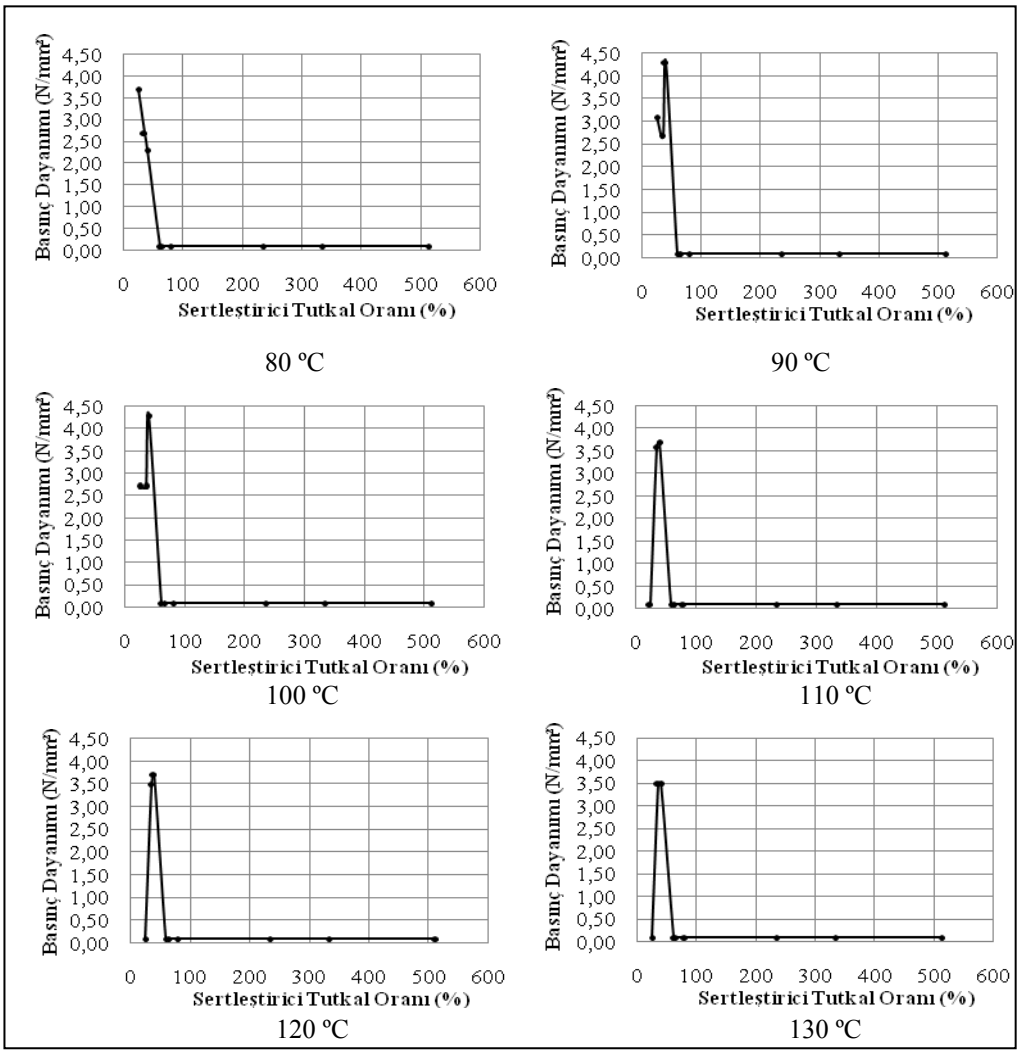
malzemenin dağılmasına neden olmuştur. Diğer numuneler üzerinde gözle yapılan incelemelerde ise %50 t/d oranlı numunenin her yönde çatlaklar oluşturarak dağılma noktasına geldiği gözlenmiştir. %45 t/d oranlı numunede de gözle görülür derin çatlaklar oluşmuş ve bu çatlaklar basınç mukavemetini olumsuz yönde etkileyerek yük altında numunenin dağılmasına neden olmuştur.

Numuneler, diyatomite tutkal karıştırılarak şekillendirilmektedir. Şekillendirilmesi esnasında da hammaddenin plastik kıvamda olması gerekmektedir. Diyatomit ise, hacminin üç katına kadar su tutabilen özellikte bir hammaddedir. Karışımı plastik kıvama getirebilmek ve tutkalın reaksiyonunu hızlandırmak için karışıma sadece sertleştirici ilave edilebilmektedir. Zira %3 den fazla su tutkalı bozmaktadır. Numune hamuru hazırlanırken düşük tutkal oranlı numunelerde, uygun kıvamı elde edebilmek için yalnız sertleştirici miktarı artırılmaktadır. Bu nedenle sertleştirici oranları, düşük tutkal oranlı numunelerde daha fazladır. Çalışmada, sertleştirici oranına göre basınç dayanımını etkileşimi de incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da grafikle ifade edilmiştir.

Şekil 4,10'da görüldüğü gibi sertleştirici/tutkal oranı en yüksek oran olan %512'den %60'a kadar basınç mukavemeti üzerinde yükseltici etkisi görülmemektedir. Ancak s/t oranının %40 olduğu değerde basınç dayanımı sert bir yükseliş göstermekte, %35 ve 20 oranlarında tekrar düşmektedir. S/t oranının basınç mukavemeti üzerinde lineer bir davranış sergilemediği gözlenmiştir. Ancak bu grafiklerdeki t/d oranları eşit değildir. Sadece s/t oranlarının yüksek olmasının etkilerini ifade edebilmek için çizilmişlerdir. Bu nedenle ilave olarak, %40 t/d oranlı numunelerin s/t oranları, %45 ile 50 seviyelerine yükseltilmiş ve özelde s/t oranlarının birim hacim ağırlığı ve basınç mukavemetleri üzerine etkisinin incelenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, seçilen pişirme sıcaklıklarında denenmek üzere, s/t oranları %45 ve %50 olan numuneler üretilmiş, Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları ölçülmüştür.

80 °C pişirme sıcaklığında, %40 t/d oranlı numuneler için, %45 ve %50 olarak artırılan sertleştirici miktarlarına bağlı olarak numunelerin birim ağırlıklarının sertleştirici oranının artmasına paralel olarak düşüş gösterdiği gözlenmiştir. %40 oranındaki sertleştirici için 0,60 g/cm^3 olan birim hacim ağırlığı, %45 oran için 0,55 g/cm^3 ve %50 oran için 0,55 g/cm^3 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.11).

90 °C pişirme sıcaklığı için birim hacim ağırlığı, %40 s/t oranında 0,67 g/cm^3 iken %45 s/t oranlı numune 0,64 g/cm^3; %50 sertleştirici-tutkal oranlı numune 0,61 g/cm^3 birim ağırlıklarında elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Sıcaklıklara göre sertleştirici/tutkal oranı ile basınç dayanımı ilişkisi

100 °C pişirme sıcaklığında birim ağırlıklarının sertleştirici oranlarıyla ilişkileri bu sıcaklıkta da devam etmiş, 40 s/t oranında 0,67 g/cm^3 iken artan sertleştirici miktarı ile birlikte birim ağırlık düşüş göstermiştir. %45 sertleştirici oranlı numunelerde birim ağırlık 0,62 g/cm^3; %50 oranlı numunelerde ise 0,61 g/cm^3 birim hacim ağırlığı elde edilmiştir.

110 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranının yükseltilmesi ile birim ağırlıklar yine düşüş göstermiş, %40, 45 ve 50 s/t oranlı numunelerde sırasıyla 0,70, 0,68 ve 0,65 g/cm^3 birim hacim ağırlığı elde edilmiştir.

120 °C pişirme sıcaklığında, %40 s/t oranlı numunede 0,68 g/cm^3 birim hacim ağırlığı elde edilirken, %45 ve %50 s/t oranlı numunelerde 0,65 g/cm^3 ve 0,63 g/cm^3 birim hacim ağırlıkları elde edilmiştir.

130 °C pişirme sıcaklığında, %40, 45 ve 50 s/t oranlarının artışına göre sırayla 0,61; 0,60 ve 0,59 g/cm^3 birim hacim ağırlıkları elde edilmiştir. Sonuçta Şekil 4.11'de görüldüğü gibi artan sertleştirici oranının birim ağırlıklarda düşüşe neden olduğu görülmüştür.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi s/t oranının %40 olduğu değerde, diğer bir deyişle basınç dayanımının pik yaptığı oranda s/t oranının basınç gerilmesi üzerine etkisi incelenmiştir. 80 °C pişirme sıcaklığında, basınç dayanımı %40 s/t oranı için 2,3 N/mm^2 iken, %45 s/t oranı için 2,2 N/mm^2; %50 s/t oranı için 2,1 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. %40 t/d oranlı numuneler için özel bir durum olarak, sertleştirici/tutkal oranı ile basınç dayanımı ilişkisi Şekil 4.12'de verilmiştir.

90 °C sıcaklıkta, basınç dayanımında %40 s/t oranlı numune 4,30 N/mm²'lik bir sonuç vermiştir. Bunu sırasıyla 3,10 ve 3,00 N/mm² ile %45 ve %50 s/t oranlı numuneler takip etmiştir.

100 °C pişirme sıcaklığında, 4,30 N/mm^2 ile en yüksek basınç dayanımı %40 s/t oranlı numunede; diğerleri de 3,50 N/mm^2 ve 3,20 N/mm^2 ile sırasıyla %45 ve %50 s/t oranlı numunelerde elde edilmiştir.

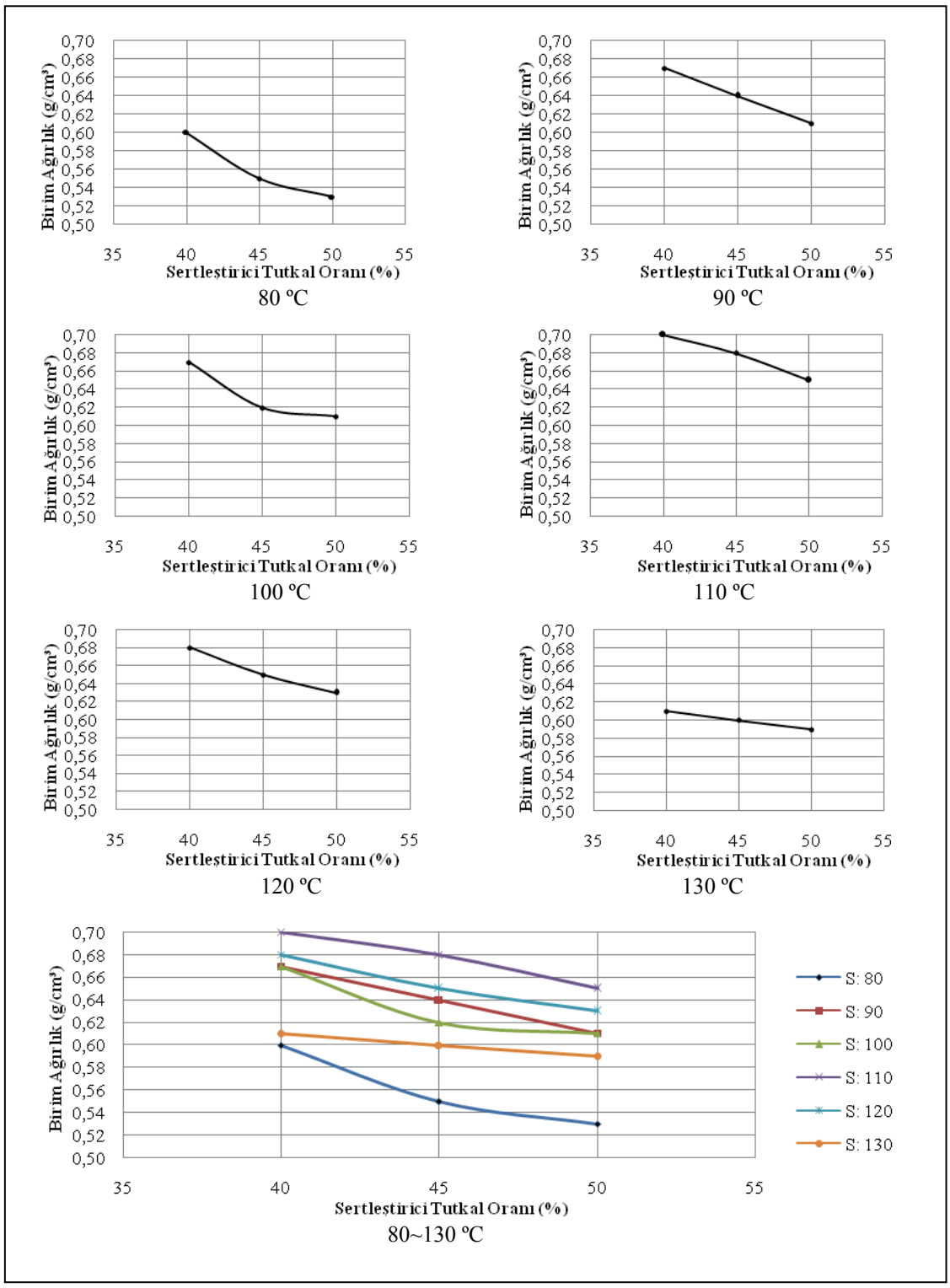
110 °C pişirme sıcaklığında da, sertleştirici oranının yükseltilmesinin basınç dayanımlarını düşürmesi şeklindeki davranış devam etmiştir. %40 s/t oranlı numunelerde 3,70 N/mm^2 basınç dayanım elde edilirken, %45 ve %50 s/t oranlı numunelerde sırasıyla 3,50 ve 3,20 N/mm^2 basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

120 °C pişirme sıcaklığında, yine %40 s/t oranlı numunede 3,70 N/mm^2, %45 ve %50 s/t oranlı numunelerde 3,50 ve 3,20 N/mm^2 basınç dayanımı elde edilmiştir.

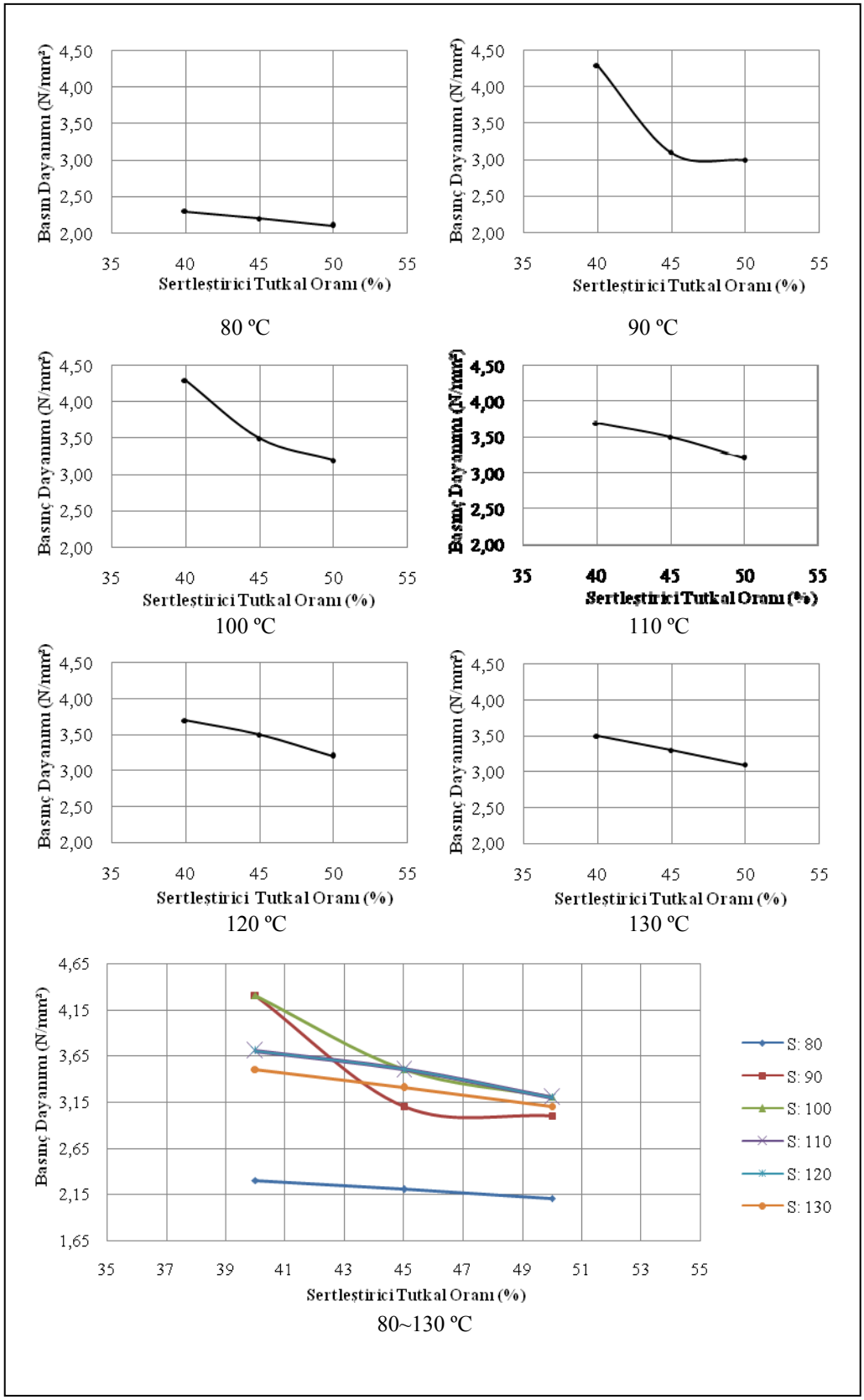
130 °C pişirme sıcaklığında da, artan sertleştirici/tutkal oranı ile birlikte basınç dayanımlarının düşmesi devam etmiş, %40, 45 ve 50 s/t oranlı numunelerde sırasıyla 0,61; 0,60 ve 0,59 N/mm^2 basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Ancak bu sıcaklıkta gözle yapılan incelemede numunelerin yüzeylerinde çatlaklar oluşmaya başladığı gözlenmiştir.

Çalışmanın temel parametrelerden biri de farklı tutkal/diyatomit oranlarında farklı pişirme ısılarının, numune üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla, aynı t/d oranlarında üretilen numunelerin, farklı sıcaklıklardaki birim ağırlık değerleri Şekil

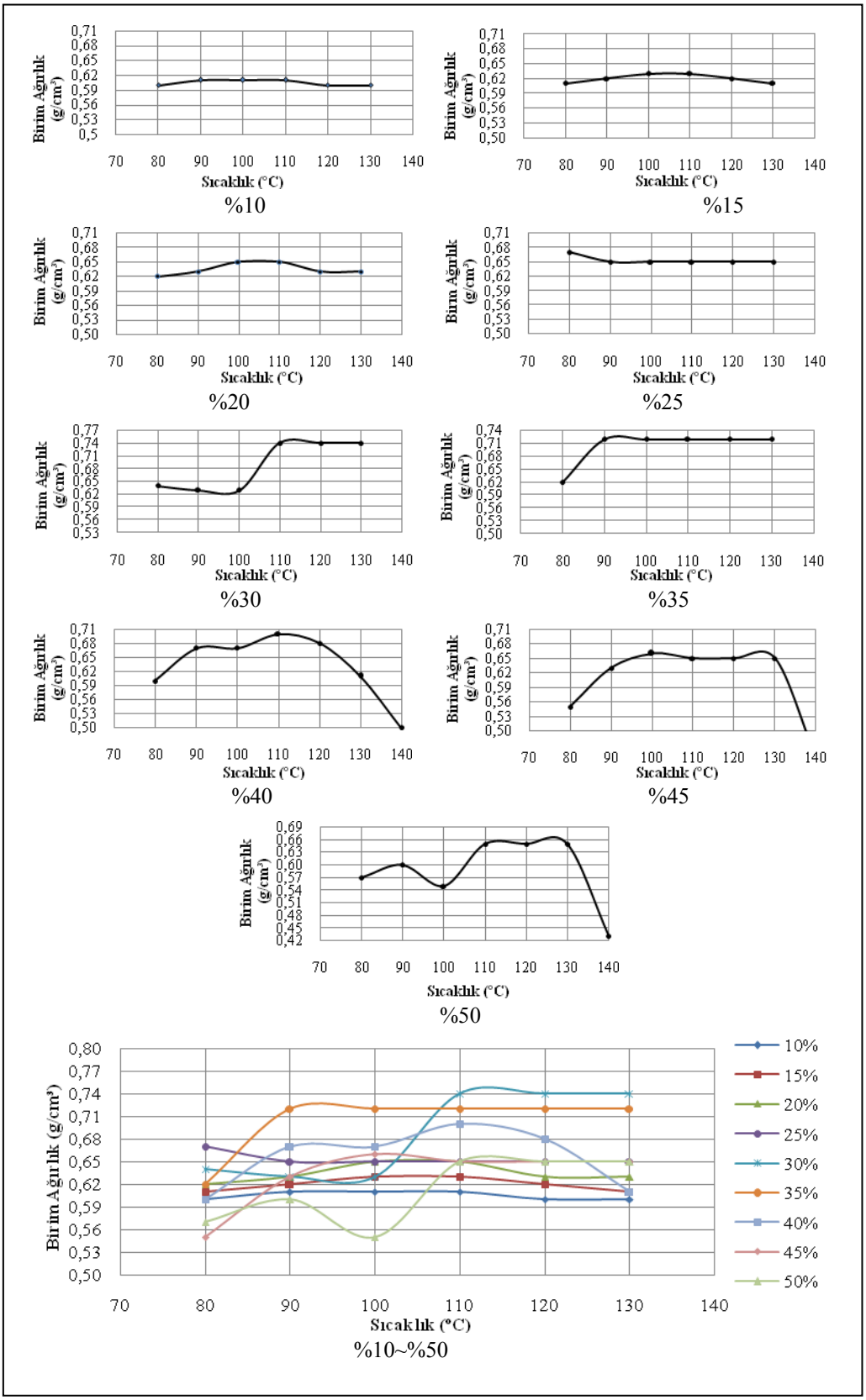
4.13'te verilmiştir. %10 ile 25 t/d oranına kadar birim hacim ağırlıkları fazla bir değişiklik göstermemiştir.



Şekil 4.11. Sıcaklıklara göre %40 t/d oranlı numuneler için s/t oranı ile birim ağırlık ilişkisi



Şekil 4.12. Sıcaklıklara göre %40 t/d oranlı numuneler için s/t oranı ile basınç dayanımı ilişkisi



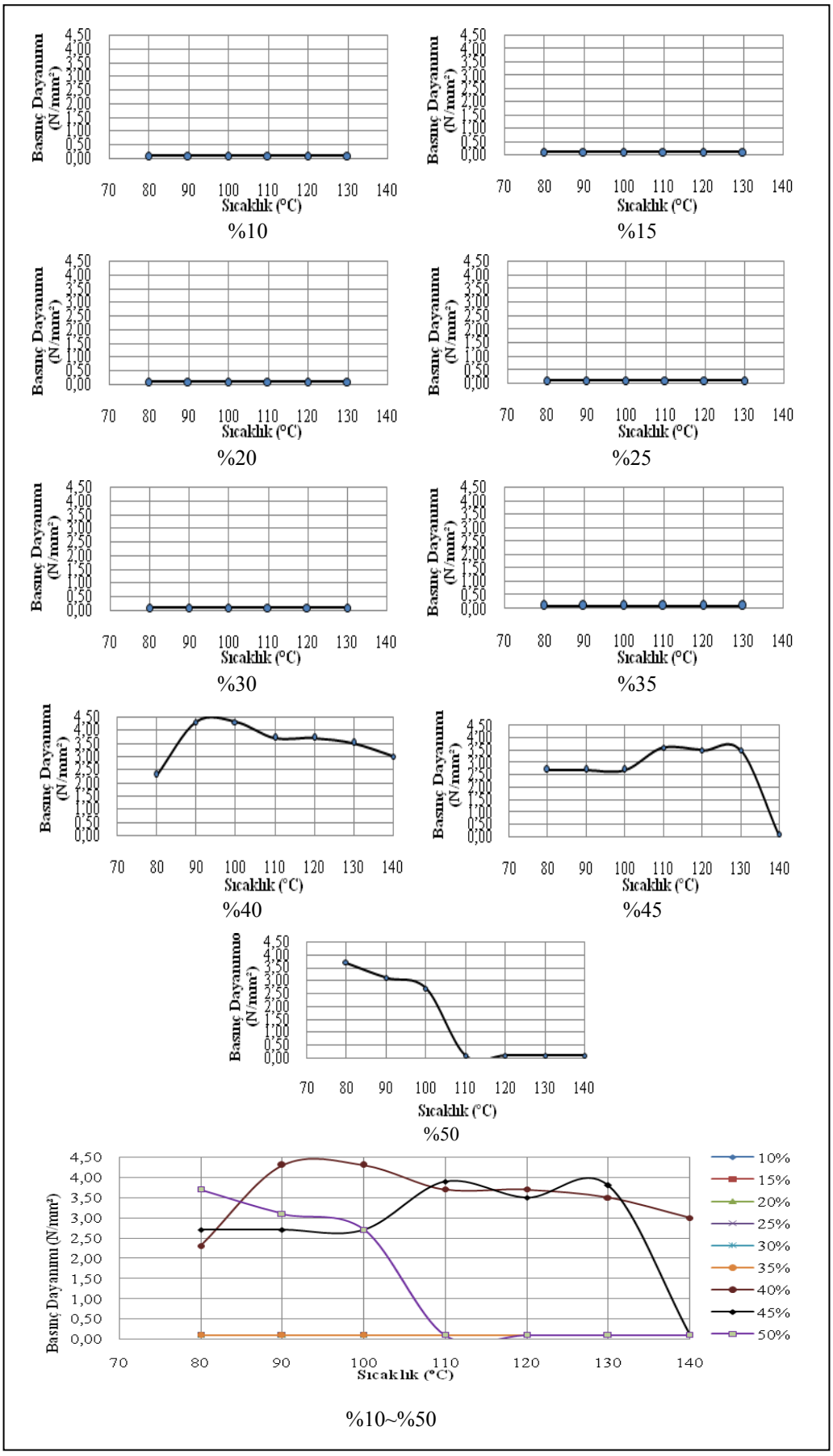
Şekil 4.13. Tutkal/diyatomit oranına göre sıcaklık ile birim ağırlık ilişkisi

%30 t/d oranlı numuneler 100 ^{o}C sıcaklığa kadar birim hacim ağırlıkları yatay seyretmiş, 110 ^{o}C sıcaklıkta bir yükselme göstermiş, bu sıcaklıktan sonra da yatay seyir devam etmiştir. %35 t/d oranlı numune ise, 90 ^{o}C sıcaklıkta birim hacim ağırlığı bir yükselme gösterdikten sonra, bu sıcaklıktan sonra yatay seyir göstermiştir

%40 t/d oranlı numuneler ise 90 ile 120 ^{o}C sıcaklıklarda küçük farklılıklar göstermiş ancak 130 ve 140 ^{o}C sıcaklıkta belirgin bir düşüş göstermiştir. Bu durumun, karışımda bulunan sıvıların yüksek sıcaklık karşısında hızla buharlaşmaya geçerek, malzemede büyük gözeneklerin oluşmasına ve hacmin büyümesine neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. %45 t/d oranlı numunelerde ise birim hacim ağırlıkta, 80 ^{o}C sıcaklıktan sonra bir yükselme görülürken, 130 ^{o}C sıcaklığa kadar küçük farlılıklarla yatay bir seyir devam etmiştir. %50 t/d oranlı numunelerde ise 80~100 ^{o}C ile 110~130 ^{o}C sıcaklıklar arasında, tanımlanması zor birbirlerine yakın değerler elde edilmiş, ancak 140 ^{o}C de sert bir düşüş görülmüştür.

Yine aynı tutkal/diyatomit oranlarında üretilen numunelerin farklı sıcaklıklarda basınç dayanımı arasındaki ilişkiler Şekil 4.14'te verilmiştir. Farklı pişirme sıcaklıklarında, %10 ile 35 t/d oranları ile basınç dayanım değerleri arasında herhangi bir ilişki söz konusu değildir. Ancak 1,0 N/mm^2 nin altında bir değerdedir. %40 t/d oranlı numunede basınç dayanım değeri, 80 ^{o}C sıcaklıktan sonra, 90 ^{o}C sıcaklıkta bir yükseliş göstermiş, bu sıcaklıktan sonra 140 ^{o}C sıcaklığa kadar küçük düşüşler sergilemiştir. %45 t/d oranlı numuneler ise, 80~100 ^{o}C ve 110~130 ^{o}C sıcaklıklar arasında yatay seyirler oluşturmuş 140 ^{o}C sıcaklıkta ise dayanım gösterememiştir. %50 t/d oranlı numune 80~100 ^{o}C arasında gösterdiği düşüşlerden sonra 110 ^{o}C ve üstü sıcaklıklarda basınç dayanım değeri verememiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımlarında belirli tutkal/diyatomit oranlarında sonuçlar alınmış olsa da, 80 °C ve 90 °C sıcaklıklarda fırınlanan numunelerde homojen bir yapıya ulaşılamamıştır. Tutkal beyaz bir katman oluşturarak numunelerin alt tarafında yığılmıştır. 100 °C sıcaklıkta ise, tabanda çok belirgin olmasa da yukarıdaki iki sıcaklıktaki yapıyı çağrıştıran zayıf bir katmanlaşma oluşmuştur. Bu nedenle bu sıcaklıklarda üretimin sağlıklı sonuç veremeyeceğine karar verilmiştir. 130 °C ve 140°C sıcaklıklarda ise numunelerde çatlaklar oluşmuş, çatlakların 140 °C sıcaklıkta daha da arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre, üretim için 110 °C ve 120 °C sıcaklık ile %40, %45 t/d oranının en uygun değerler olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Tutkal/diyatomit oranına göre sıcaklık ile basınç dayanımı ilişkisi

Bu sonuçlardan hareketle, numunelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için, özellikle basınç dayanımına karşı en yüksek performans gösteren %40 tutkal/diyatomit oranlı numuneler üzerinde gerekli deneylerin yapılmasına karar verilmiştir.

Yapılan deneyler, kimyasal-petrografik deneyler ve fiziksel-mekanik deneyler olarak iki grupta ele alınmıştır. Gerçekleştirilen;

a) Kimyasal-petrografik deneyler:

- Elementel (EDX) analiz
- İnce kesit alınması ve polarizan (petrografik) mikroskopla incelenmesi,
- Tarayıcı elektron mikroskopla (SEM) görüntülenmesi ve incelenmesi,
- Diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik (TG) analiz,
- X ışınları difraktometresi (XRD) analizidir.

b) Fiziksel-mekanik deneyler:

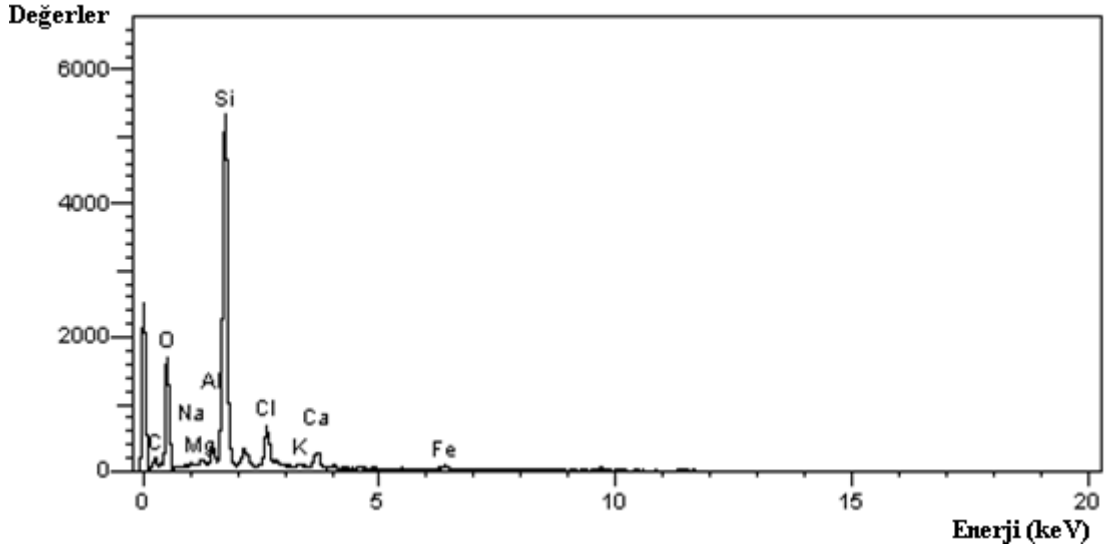
- Birim hacim ağırlık tayini,
- Basınç dayanımı,
- Eğilme momenti,
- Özgül kütle tayini,
- Rutubet tayini,
- Kılcallık,
- Su emme,
- Görünür porozite
- Kompasite,
- Porozite,
- Doyma derecesi,
- Dona dayanıklılık,
- Isı iletkenliği
- Su buharı geçirgenliği
- Ses yutuculuğu olarak belirlenmiştir.

4.2.1. Kimyasal ve petrografik deneyler

Üretilen numunelerde gözenekli bir yapı oluşmuştur. Oluşan boşluklar çok düzenli, mükemmel, homojen bir dağılım göstermemekle birlikte, yeterli miktarda boşluğun oluşmuş olduğu çıplak göz ile yapılan muayenelerde rahatlıkla görülebilmektedir. 0.50 g/cm^3 ile 0.74 g/cm^3 arasında değişen numune birim ağırlıkları da boşluklu oluşumun açık bir göstergesidir (Çizelge 4.4).

4.2.1.1. Elementel analiz

Kimyasal bileşim hakkında bir fikir verebilmek amacıyla önce elementel analizi (EDX) yapılmıştır. Bu analiz, diyatomit elementel analizi (Şekil 3.15) ile karşılaştırılırsa, silis miktarında kayda değer bir değişim olmadığı, karbon miktarının bir miktar yükseldiği, oksijen, magnezyum, klor ve kalsiyum miktarlarının ise gözle görülür bir oranda arttığı görülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. %40 tutkal oranlı örneğe ait elementel analiz

4.2.1.2. İnce kesit alınması ve polarizan (petrografik) mikroskopla incelenmesi

Üretilen numune boşluklarının yapısı ve birbirlerine göre durumunun gözlenebilmesi için ince kesit ve SEM görüntülerinin alınması gerekli görülmüştür. Numunelerin (şekillerde "tuğla" olarak gösterilmiştir) ince kesit incelemeleri sonucu, örneği oluşturan iki farklı bileşenin çok iyi bir şekilde bağlanmış olduğu, buna ek olarak

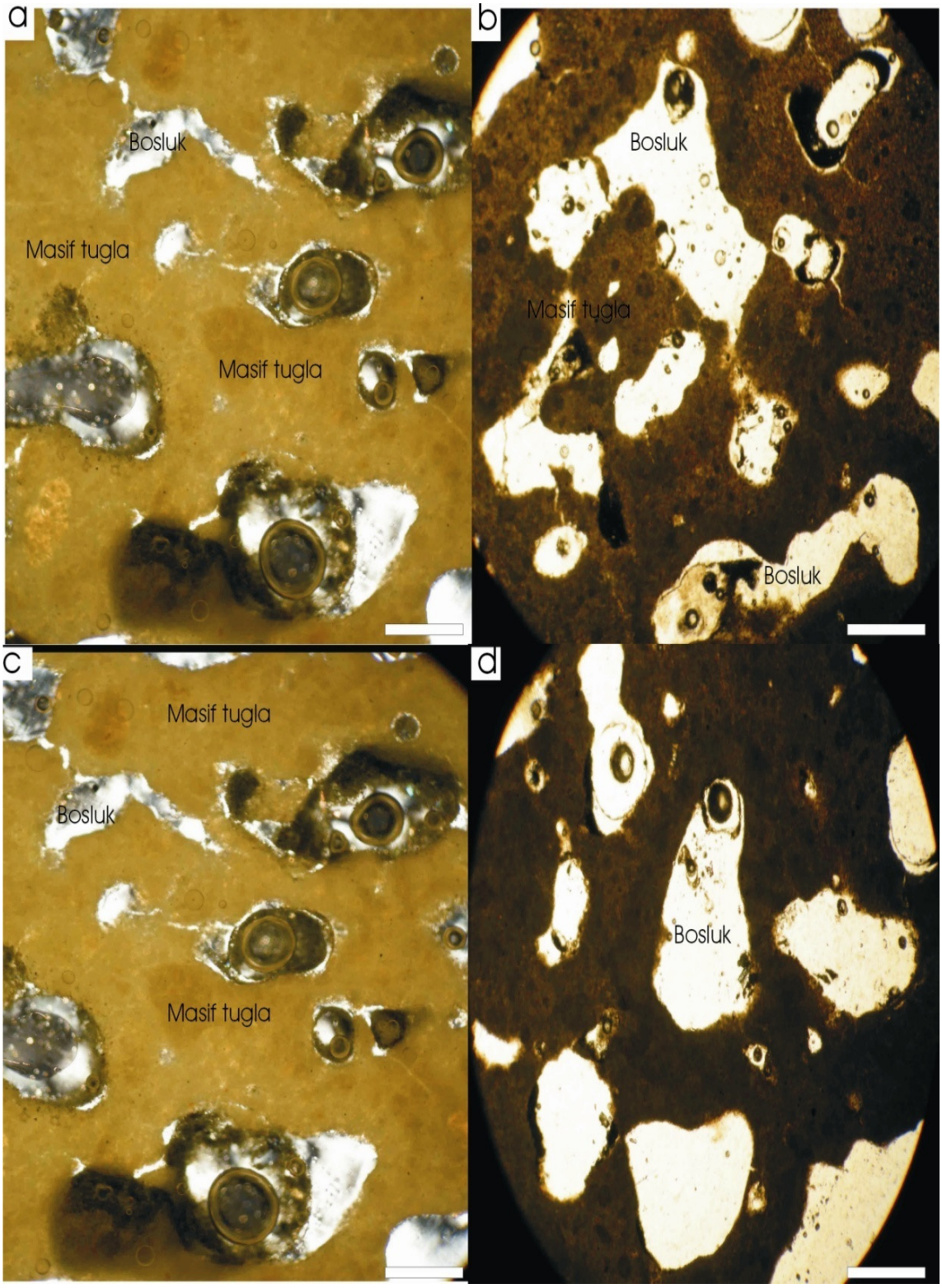
numune bünyesinde, büyüklük ve dağılım açısından mükemmel bir homojenlik görülmese de büyük ve çok sayıda boşlukların teşekkül ettiği tespit edilmiştir (Şekil 4.16a). Aynı numune çift nikol altında siyah renklidir, bu da örneğin masif ve ince taneli bileşenler içerdiğini göstermektedir (Şekil 4.16b). Numunelerin boşlukları kabul edilebilir düzeyde düzenli ve bağlantılı olmasına rağmen, içinde az miktarda serbest diyatomit içermekte ve hava kabarcıkları oluşmuş bulunmaktadır (Şekil 4.16c). Numunede boşluklar beyaz renklidir. Boşluk içersinde safsızlık ince bir şekilde dağılmıştır ve siyah noktalar şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4.16d).

4.2.1.3. Tarayıcı elektron mikroskopla (SEM) görüntülenmesi ve incelenmesi

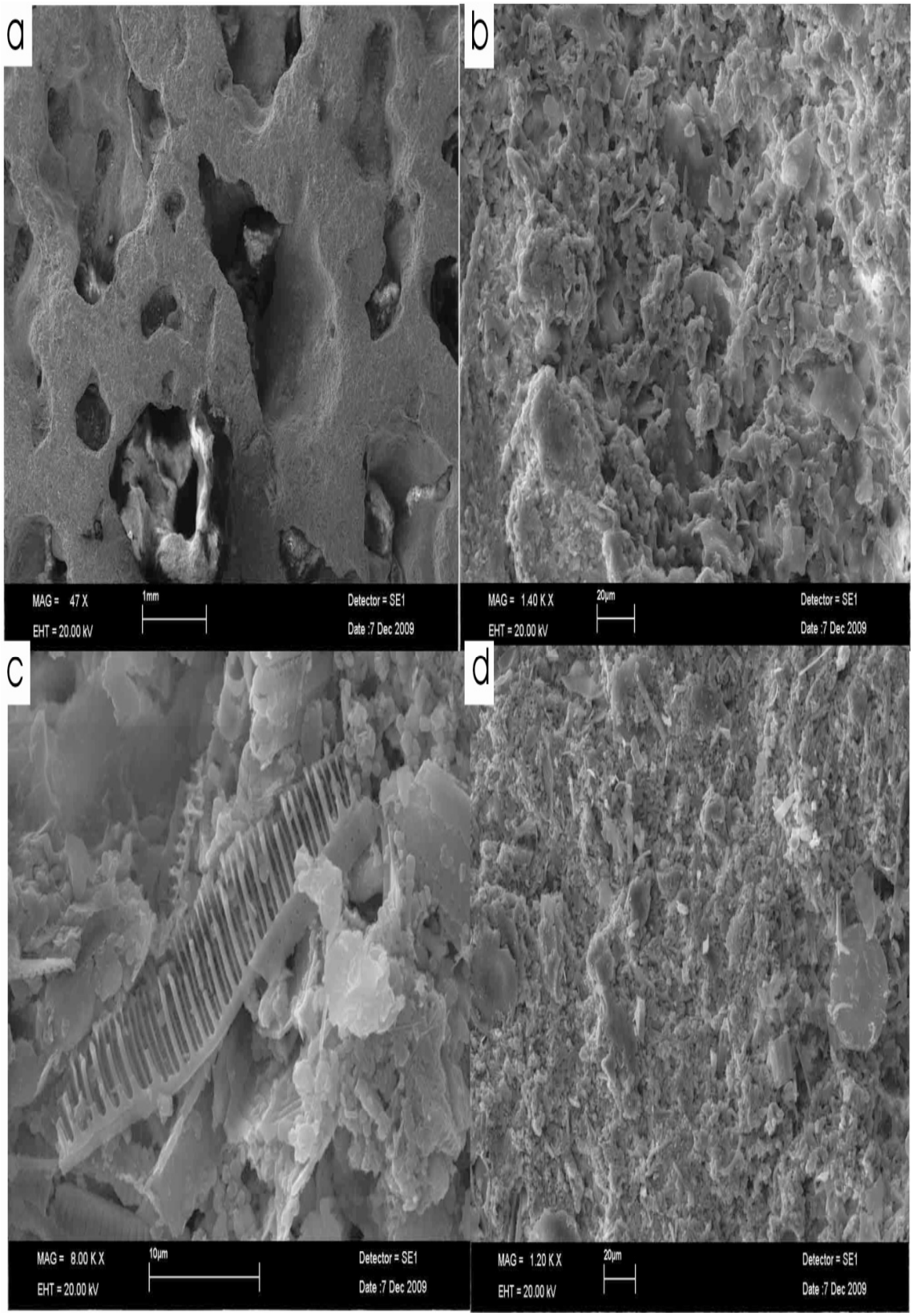
SEM fotoğrafları da içyapının, büyük oranda boşluklu bir yapı arz ettiğini göstermektedir. Boşluklar oldukça büyük boyutludur ve birbirleriyle bağlantılıdır (Şekil 4.17a). Burada, diyatome kavkıları içinde ve/veya bu kavkılar arasında bulunan boşlukların üre-formaldehit ile doldurulmuş olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.17b, Şekil 4.17c). Numune bu özellikleriyle, yüksek oranlarda emiş (absorption) gücü olan bir içyapı arz etmektedir.

4.2.1.4. DTA-TG analizi

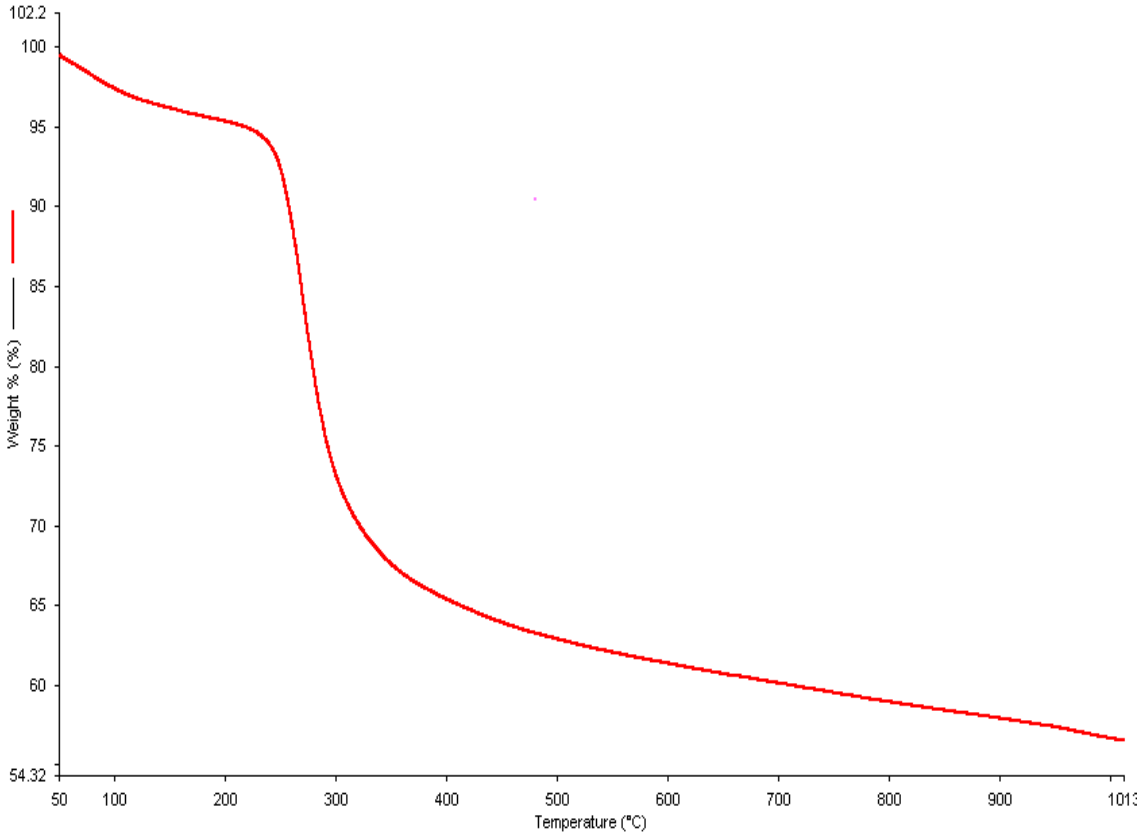
TG analizinde, 100 ºC sıcaklıktan sonra ani bir kütle kaybı görülmüştür. Bu aşamadaki kütle kaybı, numune içerisinde bulunan nem miktarından kaynaklanmaktadır. 200 ºC ile 400 ºC sıcaklıklar arasındaki kütle kaybında ise, yapıdaki organik grupların bünyeden ayrıldığı anlaşılmıştır (Şekil 4.18). DTA sinyalinde, 300 derece civarında görülen kuvvetli düşüş de, TG spektrumunu destekler niteliktedir ve yapıdan ayrılan organik gruba aittir (Şekil 4.19). Çalışılan diyatomitin kızdırma kaybının %10.56 olduğu göz önüne alınırsa, bu orandan sonra ayrılan organik grubun, üre formaldehit olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklık kütle kaybı ilişkisini gösteren rakamsal değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir.



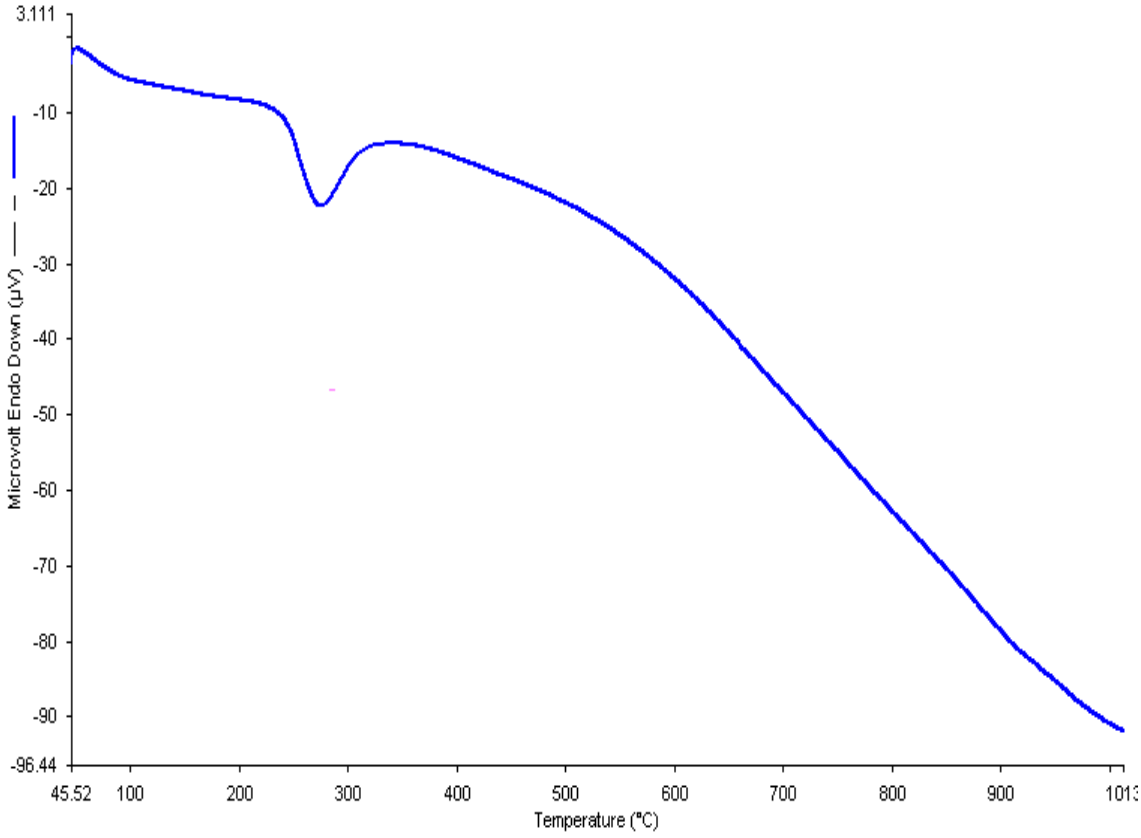
Şekil 4.16. Üre-formaldehit bağlayıcılı numunenin ince kesit mikro-fotoğrafları (**a**) Numunenin iki bileşeni birlikte mükemmel bir şekilde bağlanmakta ve buna ek olarak numune içyapısında büyük boşluklar oluşmaktadır (tek nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**b**) Numune çift nikol altında siyah renklidir, bu da içyapının masif ve ince taneli bileşenler içerdiğini göstermektedir (**çift** nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**c**) Örneğin boşlukları kısmen düzenli ve bağlantılı olmasına karşılık içi az miktarlarda diyatomit ham maddesi içermekte ve hava kabarcıkları oluşmaktadır (tek nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.); (**d**) Numune çift nikol altında siyah renklidir, boşluklar ise beyaz renklidir, boşluk içersinde safsızlık ince bir şekilde dağılmış olup, siyah nokta renkler şeklinde gözlenmektedir (**çift** nikol, çizgi ölçek 0.5 mm.).



Şekil 4.17. Üre-formaldehit bağlayıcılı numunenin SEM görüntüleri (a) Numuenin homojen, masif ve boşluklu içyapısı, (×470); (b) diyatome kavkıları içinde ve/veya bu kavkılar arasında bulunan boşluklar üre-formaldehit ile doldurulmuştur, (×1400); (c) Aynı bölgeden daha büyütülmüş bir görüntü (×8000); (d) İçyapıda diyatomit ve tutkalın homojen bir şekilde kaynaştığı görülmektedir.



Şekil 4.18 %40 tutkal/diyatomit oranlı örneğe ait TG spektrumu



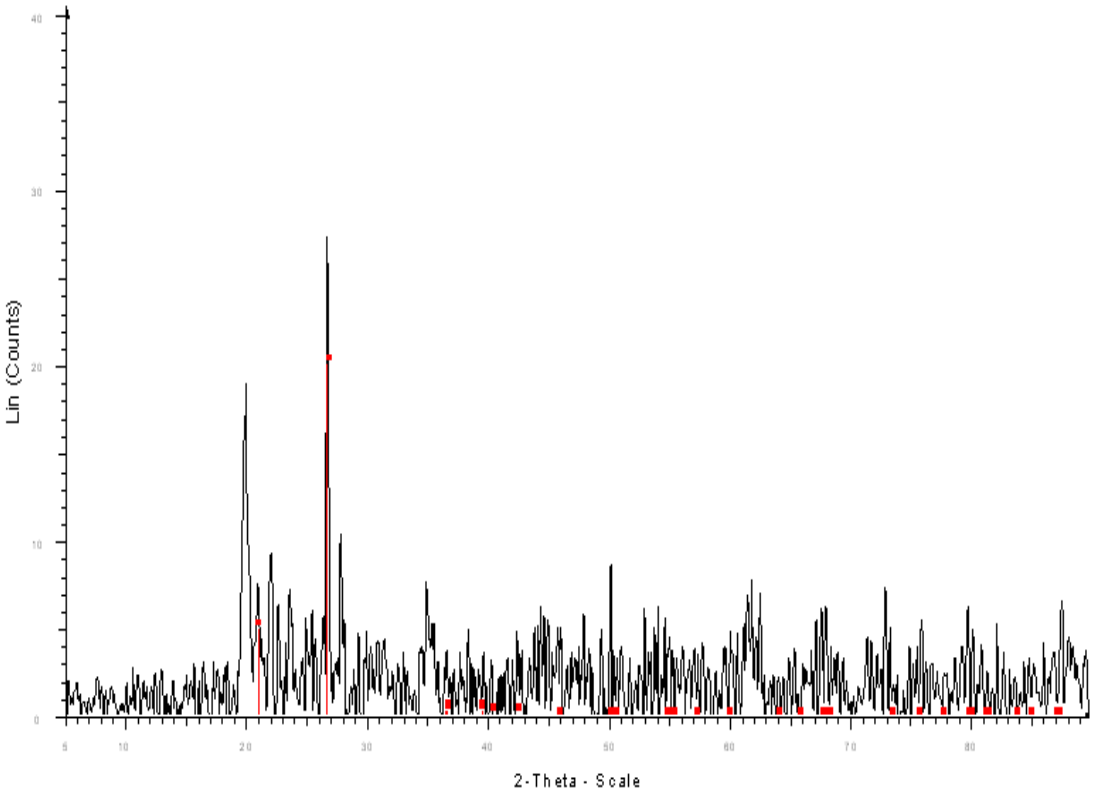
Şekil 4.19 %40 tutkal/diyatomit oranlı örneğe ait DTA spektrumu

Çizelge 4.5. Sıcaklık kütle kaybı ilişkisi

Sıcaklık (ºC)	Kütle (%)	Sıcaklık (ºC)	Kütle (%)	Sıcaklık (ºC)	Kütle (%)
55,52	99,276	375,52	66,296	695,52	60,170
65,52	98,859	385,52	65,903	705,52	60,037
75,52	98,413	395,52	65,537	715,52	59,924
85,52	97,977	405,52	65,203	725,52	59,810
95,52	97,560	415,52	64,883	735,52	59,679
105,52	97,205	425,52	64,587	745,52	59,568
115,52	96,912	435,52	64,302	755,52	59,453
125,52	96,650	445,52	64,030	765,52	59,322
135,52	96,432	455,52	63,781	775,52	59,206
145,52	96,245	465,52	63,550	785,52	59,098
155,52	96,070	475,52	63,338	795,52	58,986
165,52	95,887	485,52	63,144	805,52	58,875
175,52	95,714	495,52	62,955	815,52	58,764
185,52	95,570	505,52	62,774	825,52	58,655
195,52	95,407	515,52	62,599	835,52	58,546
215,52	95,251	525,52	62,431	845,52	58,457
215,52	95,044	535,52	62,266	855,52	58,353
225,52	94,767	545,52	62,108	865,52	58,250
235,52	94,276	555,52	61,962	875,52	58,156
245,52	93,301	565,52	61,818	885,52	58,054
255,52	90,901	575,52	61,675	895,52	57,947
265,52	86,835	585,52	61,541	905,52	57,850
275,52	81,861	595,52	61,408	915,52	57,748
285,52	77,494	605,52	61,271	925,52	57,626
295,52	74,325	615,52	61,137	935,52	57,537
305,52	72,215	625,52	60,999	945,52	57,407
315,52	70,734	635,52	60,883	955,52	57,294
325,52	69,588	645,52	60,751	965,52	57,141
335,52	68,659	655,52	60,624	975,52	57,000
345,52	67,895	665,52	60,528	985,52	56,860
355,52	67,259	675,52	60,398	995,52	56,713
365,52	66,739	685,52	60,276	1005,52	56,589

4.2.1.5. X ışınları difraktometresi (XRD) analizi

Yapılan analizde numune yapısı amorf bir oluşum sergilemiş, sadece SiO_2 fazı yakalanabilmiştir. Analizde kullanılan XRD cihazı %5'in altındaki oranlarda bulunan bileşikleri ayırt edememektedir. Bu sonuçta, diyatomitin SiO_2 ağırlıklı yapısının katkısı büyüktür.



Bileşiğin Numarası	PDF No	Bileşiğin İsmi	Bileşiğin Kapalı formül	Kristal Sistemi	Birim Hücre Parametreleri a	b	c	Alfa	beta	gama	Bravais Örgüsü	Z*
1	85-0335	Quartz low	SiO2	Hexagonal	4.91340	4.91340	5.40520	90.000	90.000	120.00	Primitive	3

Açıklamalar:Cu Tüp / Dalgaboyu 1.5406Angstrom; 40kV, 40mA;*Z: Birim hücredeki molekül sayısı.

Şekil 4.20. XRD analiz grafiği

4.2.2. Fiziksel ve mekanik deneyler

Çalışmada üretilen numunelerin, özellikle dış tesirlere karşı davranışını belirlemek için uygulanan fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları aşağıda verildiği şekilde elde edilmiştir.

4.2.2.1. Birim hacim ağırlığı

Yapılan ölçümler sonucu, numunelerin ortalama birim hacim ağırlığı, 0.70 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

4.2.2.2. Basınç Dayanımı

Yapılan ölçümler sonucu, numunelerin ortalama basınç gerilmesi 0.35 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

4.2.2.3. Eğilme dayanımı

Numunelerin ortalama eğilme momenti, 1.70 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

4.2.2.4. Özgül kütle

Numunelerin ortalama özgül kütlesi, 1.75 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

4.2.2.5. Rutubet tayini

Numunelerin ortalama nem içeriği, %3 olarak bulunmuştur.

4.2.2.6. Kapiler su emme katsayısı

Numunelerin kapiler su emme katsayısı, 79.46 $g/m^2 \times s^{0,5}$ olarak bulunmuştur.

4.2.2.7. Su emme

Numunelerin kütlece su emme oranı, %42 olarak bulunmuştur.

Hacimce su emme oranı ise, %46 olarak hesaplanmıştır.

Numunenin petrografik incelemesinde, numune yapısının yüksek oranda ve dışa açık boşluklu olduğu ve bu özelliğiyle yine yüksek düzeyde su emme özelliği taşıdığı belirtilmişti. Bu sonuçlar da petrografik incelemeyi desteklemektedir.

4.2.2.8. Görünen porozite

Ortalama görünen porozite, %46 olarak elde edilmiştir.

4.2.2.9. Kompasite

Kompasite, %40 olarak hesap edilmiştir.

4.2.2.10. Porozite (gözeneklilik)

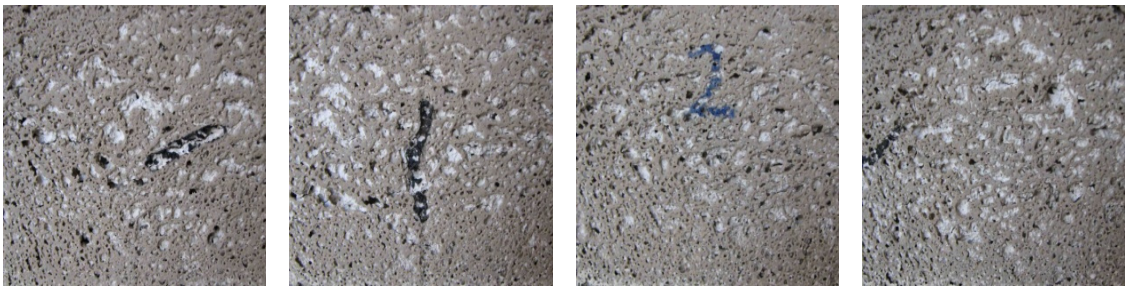
Porozite, %60 olarak bulunmuştur.

4.2.2.11. Doyma derecesi

Doyma derecesi, %76,66 bulunmuştur. Elde edilen bu değer, malzemenin teorik olarak dona dayanıklı olduğunu göstermektedir.

4.2.2.12. Donma-çözülmeye dayanıklılık

Göz ile muayenede, tüm bünyede daha önce şişleme hatasından dolayı üretim aşamasında oluşmuş bulunan ve çıplak gözle doğrudan fark edilemeyen kılcal çatlaklar belirginleşmiş, ayrıca çok ince birkaç yeni çatlak ile birlikte Şekil 4.21'de görüldüğü gibi numunelerin yüzeyinde önemsenmeyecek düzeyde dökülmeler oluşmuştur. Donma çözülme deneyinden sonra, numuneler basınç testine tabi tutulmuş ve ortalama basınç dayanım değeri 3.0 N/mm² olarak bulunmuştur. Bu durumda, numunelerin donmadan dolayı, %15 civarında basınç dayanım kaybına uğradıkları anlaşılmaktadır.



Şekil 4.21. Donma deneyi yapılmış bir örneğe ait yüzey resimleri

4.2.2.13. Isı iletim katsayısı

Isı iletim katsayısı 0,134 W/m.K olarak elde edilmiştir. Bu değer, 0,4 g/cm^3 birim ağırlıklı gazbetonun 0,15 W/m.K olan ısı iletkenlik katsayısı ile kıyaslandığında, iyi bir değer olarak görülebilir.

4.2.2.14. Yangına dayanıklılık

Organik bir malzeme olan üre-formaldehitin 270 °C sıcaklıkta özelliğini kaybettiği bilinmektedir. Ancak, laboratuarda yapılan deneylerde üre-formaldehitin, 200 °C sıcaklıkta kararak özelliğini kaybetmeye başladığı görülmüştür. Her ne kadar diyatomitin ergime noktası 1400 °C olsa da, bağlayıcı olarak kullanılan malzemenin çizdiği bu sınır, üretilen numuneler için yangına dayanıklılık yönünden önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir.

4.2.2.15. Buhar geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği, 1,32854E-11kg/(m.sn.Pa), su buharı difüzyon direnç katsayısı ise 12,935 olarak bulunmuş ve elde edilen değerler Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.6. Su buharı geçirgenliği analizi (TS EN 1745, ISO 12572)

Kâgir Birimin Dolu Kısmın Birim Hacim Kütlesi (kg/m^3)	0,62	g/cm^3
Kararlı Durumda Ağırlık Farkı, (ΔG), (ISO 12572)	0,00201	kg
Kararlı Durumda Zaman Farkı, (ΔT) , (ISO 12572)	28320,5	sn
Su Buharı Akımı (ΔG/ΔT), G, (ISO 12572)	7,07500E-08	kg/sn
Numune Yüzey Alanı (A)	0,0153	m^2
Su Buharı Akış Yoğunluğu (g), (ISO 12572)	4,676595E-06	kg/(m^{2}sn)
Ortam Sıcaklığı (T) , (ISO 12572)	23,0	^{o}C
Ortam Bağıl Nemi (Q) , (ISO 12572)	50,60	%
Su Buharı Geçirimi (Wc) , (ISO 12572)	5,1605E-09	kg/(m^2.sn.Pa)
Birimin Su Buharı Geçirgenliği (δ) , (ISO 12572)	1,52531E-11	kg/(m.sn.Pa)
Havanın Su Buharı Geçirgenliği (δ a) , (ISO 12572)	1,940E-10	kg/(m.sn.Pa)
Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı (μ)	12,935	

4.2.2.16. Ses yutuculuk analizi

Ortalama ses yutuculuk değeri 24 dB olarak elde edilmiştir. Ses yutuculuk analizine ait sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ses Yutuculuk Analizi (TS 2382, TS 1477 ve TS EN 20140-10)

Ölçüm Frekansı (Hz)	Analiz Öncesi Ölçüm Düzeneği İçin Fon Ölçümü Ses Basınç Düzeyi (dB)	Test Örneği İle Birlikte Fon Ölçümü Ses Basınç Düzeyi (dB)	Test Örneği Ses Yutuculuk Değeri (dB)
100	81,83	64,73	17,1
125	83,53	64,83	18,7
160	84,93	63,83	21,1
200	86,33	64,23	22,1
250	86,83	64,93	21,9
315	87,53	65,23	22,3
400	88,73	65,43	23,3
500	89,73	65,73	24
630	90,33	65,23	25,1
800	92,43	64,83	27,6
1000	93,03	64,13	28,9
1250	93,23	65,03	28,2
1600	92,83	66,73	26,1
2000	93,13	68,93	24,2
2500	92,83	73,93	18,9
3150	92,73	75,03	17,7
Test Biriminin Ses Yutuculuk Değeri: 24 (dB)			

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının genel amacı, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı yalıtım değeri, kimyasal nötürlük gibi, birçok üstün özelliklere sahip olan ve ülkemizde bol miktarda bulunan organik yapılı diyatomitin, yapı teknolojisine malzeme hammaddesi olarak kazandırılmasıdır. Amaçlanan spesifik hedefler ise düşük birim hacim ağırlığına ve düşük ısı iletim katsayısına sahip yeni bir ürünün yapı endüstrisine kazandırılmasıdır. Çalışmada, yapı üretiminde en fazla kullanılan bağlayıcı türü olan çimento ile polimerler sınıfından olan üre-formaldehit bağlayıcı olarak seçilmiştir. Bu bağlayıcıların diyatomit ile oluşturacağı yapı malzemesinin performans özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Bağlayıcı olarak çimentonun diyatomit esaslı hafif yapı blokları üretiminde kullanılması durumunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Diyatomit, porozitesi yüksek bir malzeme olduğundan su emme oranı da oldukça yüksektir. Bu durum, çimento bağlayıcılığında üretilen numunelerde karma suyu ihtiyacını artırmaktadır. Artan su miktarı da çimentonun hidratasyonu için pozitif yönde etki olarak görülse de hava kurusu durumuna geldiği zaman iç bünyedeki farklı gerilmelerin fazlalaşmasına neden olması, basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

2. Hacimce %10, 20, 30 ve 40 çimento/diyatomit oranlarında üretilen diyatomit esaslı, çimento bağlayıcılı hafif yapı elemanlarının hava kurusu birim ağırlıkları oldukça düşük olmaktadır.

3. Numuneler, 1 mm kare gözlü elekten geçirilen diyatomit, çimento ile bağlanarak üretilmiştir. Numuneler, kalıba döküldükten 24 saat sonra çıkartılarak 7 ve 28 günlük yaşa kadar küre tabi tutulmuştur. 60 ve 150 günlük numuneler ise hava kurusu durumuna getirilerek basınç mukavemetleri belirlenmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerin basınç gerilmeleri, çimento oranına paralel şekilde artış göstermiştir. Kürden alınan ve laboratuar ortamında hava kurusu durumuna getirilen numunelerin 60 günlük basınç gerilme değerinde de çimento oranına paralel olarak artan değerler elde edilmiş ve bu günden sonra kılcal çatlaklar belirginleşerek büyümeye başlamıştır. 150 günlük numunelerde ise çimento miktarlarına paralel olarak mukavemet kayıpları oluşmuştur. Buna sebep olan faktörlerin başında diyatomitin organik asıllı bir malzeme oluşu ve çimentonun kimyasal içeriğinde bulunan bileşenlerle, zamana bağlı olarak çimento ile diyatomit arasındaki aderansı zayıflatan bir jel oluşturma davranışı gelmektedir.

Ayrıca Ünal ve ark. (2005) ile Topçu ve Uygunoğlu (2007), yaptıkları çalışmalarda, çimento ile diyatomit agrega taneleri arasında oluşan bağ ara yüzünün zayıf kaldığını SEM görüntüleri ile tespit etmişlerdir (Şekil Ek5.1, 5.2).

4. Numuneler, su kürüne tabi tutulduğu müddetçe herhangi bir deformasyon göstermemiş, laboratuarda açık hava şartlarında bırakıldıklarında ise zaman içerisinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlamış ve çatlaklar gittikçe büyüyerek parçalanma derinliğine kadar ulaşmıştır. Basınç mukavemeti kaybı, numune yüzeyinde ileri derecede pullaşmalar, zamanla derinleşen ve kütle kaybına yol açan çatlaklar gibi tüm bu olumsuzlukların agrega reaksiyonundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Agrega reaksiyonu, çimento hammaddesi içinde bulunabilen Na_2O, K_2O gibi alkalilerin, diyatomitin temel bileşeni olan aktif silis ile reaksiyona girmesi sonucu, bir silikat jeli oluşturmaları olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneylerde ise karışımın ana unsurunun diyatomit olmasından dolayı, sadece 150 gün gibi bir sürede çimento bağlayıcı özelliğini kaybetmiştir. Bu nedenle öğütülmüş diyatomitin agrega olarak kullanıldığı, çimento bağlayıcılı hafif yapı bloklarının üretiminin mümkün olmadığı belirlenmiştir.

Bu nedenle, ülkemizde hammadde olarak bolca bulunan diyatomiti, yapı endüstrisine kazandırabilmek amacı ile farklı bir bağlayıcının denenmesi araştırmasına girilerek; üre-formaldehitin uygun bağlayıcı olabileceği düşünülmüş bu nedenle deney çalışmaları bu doğrultuda devam etmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. %10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 50 tutkal-diyatomit oranlarında, olumlu basınç dayanım sonucu elde edilememiştir. %40 ve 45 tutkal-diyatomit oranlı numunelerde ise hafif yapı malzemesi için istenilen minimum basınç mukavemetinin (2,5 N/mm^2) üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.

2. Formaldehit reaksiyonunu hızlandırmak için kullanılan sertleştirici/tutkal oranının azaltılmasının, numunelerde oluşan gözenekliliğin azalmasına neden olmuştur. Bu da doğal olarak birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca gözenekliliğin azalması, üretilecek yapı elemanının ısı iletkenlik değerinin artmasına neden olan bir faktör olarak görülmektedir.

3. Sertleştirici oranlarının artması ve 120 ºC sıcaklığın üzerindeki ısı şokları gözenekliliği artırmakta, ancak malzemede çatlakların ve kırılganlığın artmasına neden olmaktadır. Ayrıca fırında pişirilen malzemeler 100 ºC'ın üzerindeki sıcak ortamdan normal hava ortamına çıkarıldığı zaman da sıcak ve soğuk gerilmelerinin etkisi ile de numunede önemli çatlaklar oluşmaktadır.

4. Çalışmada belirlenen incelik modülü, numuneler üzerinde yapılan çalışmalarda en iyi sonucu veren modüldür. Daha iri taneli diyatomit kullanıldığı zaman numune üzerinde çok geniş çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Daha ince taneli diyatomit kullanıldığı takdirde ise tane yüzey alanının büyümesi ile tutkal kullanım miktarının artmasına neden olduğu görülmüştür.

5. Çelik kalıplar kullanıldığı zaman, hamurun kalıba yapışmaması için kalıp ayırıcı eriyik ve kalıp yağı kullanma zorunluluğu doğmakta, dolayısı ile üretim sürecine ek bir maliyet yüklenmektedir. Yüksek ısıya dayanıklı plastik kalıp kullanıldığında ise hamur, fırınlanma esnasında kalıba yapışmamakta ve ürün kolayca kalıptan çıkarılmaktadır. Şayet özel olarak hazırlanacak, hamurun fırınlanma sıcaklığı olan 110 °C ve yukarısındaki sıcaklıklara dayanıklı plastik kalıplar üretilebilir ise endüstriyel boyutta önemli tasarruf sağlanacaktır.

6. 100x100x100 mm ve 150x150x150 mm boyutlarında üretilen numunelerde, yeterli genleşme sağlanamamıştır. Çok ince gözenekli, ve daha kırılgan numuneler elde edilmiştir. Bu durumun kalıp derinliğinin fazla olması nedeniyle, ısının hamura, dolayısı ile tutkala nüfuz etmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En uygun kalıp genişliği ve yüksekliğinin bu çalışma için, 700~800 mm, uzunluğunun ise 200~250 mm olduğu görülmüştür. Bu da üretilen yapı elemanı için bir sınırlama anlamı taşımaktadır.

7. ISO standartlarına göre, bir yapı malzemesinin ısı yalıtım malzemesi sınıfına girebilmesi için, malzemenin ısı iletkenlik katsayısının 0,06 W/mK'den küçük ya da eşit olması gerekmektedir. Bu durumda, çalışmada üretilen yapı elemanları, ısı yalıtım malzemesi sınıfına değil, hafif yapı elemanı sınıfına girmektedir. Üretilen yapı elemanlarının, λ=0.134 W/mK'lik ısı iletkenlik katsayıları ile dış duvarlarda, TS 825'e göre önemli miktarda ısı yalıtımı sağlayacağı anlaşılmıştır. Ürünün gözenekli yapısı ayrıca ses yalıtımına da katkıda bulunacaktır.

8. Ürünlerin ağırlıkça ve hacimce su emme yüzdeleri yüksek çıkmaktadır. Bu bir dezavantaj olarak görünse de, boşlukların birbiri ile ilintili olması su miktarının kısa sürede uzaklaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu durum, hapsolmuş su miktarını azaltarak boşluklardaki suyun yosun, mantar üretmesini engelleyici konumda olması, önemli bir üstünlük olarak düşünülebilir.

9. Bu çalışma sonuçlarına göre, üretilmiş yapı elemanlarının en büyük dezavantajı, diyatomitin 1400 °C olan yüksek ergime sıcaklığına karşın, üre formaldehit reçinesinin ısıdan bozulma eşiğinin 270 °C gibi düşük bir düzeyde kalmasıdır. Hatta laboratuar

deneylerinde ise, 200 °C sıcaklıkta reçinenin özelliğini kaybetmeye başladığı gözlenmiştir.

10. Su emme yüzdesini azaltmak için, imalat sırasında su itici kimyasallar kullanılmak suretiyle ürünler, bünyelerine su almayacak bir yapıda imal edilebilirler.

11. Ürünün basınç ve çekme gerilmesi dayanımı, deneylerle belirlenecek oranlarda, öğütülmüş ancak genleştirilmemiş perlit veya öğütülmüş pomza ilavesiyle daha da artırılabilir. Bu katkılar, birim hacim ağırlığının bir miktar yükselmesine neden olabilir. Çekme gerilmesi dayanımını artırmak için, imalat sırasında hamur kompozisyonuna deneylerle belirlenecek oranlarda sentetik elyaf ilavesi, ek bir çözüm yolu olarak düşünülebilir.

12. Ürünler, cevherinden alınan diyatomit kayaçlarının, kurutma, kalsine ya da flaks kalsine edilmesi gibi hiçbir işleme tabi tutulmadan, sadece öğütülmesi suretiyle üretilmişlerdir. İşlemden geçirilmiş diyatomitin ürünler üzerindeki etkisi ayrı bir çalışma konusu yapılabilir.

Bu çalışma ileride daha ayrıntılı çalışılarak endüstriyel üretim boyutuna taşınabilir ve diyatomit, üre-formaldehit bağlayıcı ile birlikte hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmak suretiyle yapı sektörüne kazandırılabilir. Ayrıca, farklı bağlayıcılar ile de deneyerek diyatomitin hafif yapı elemanı üretimi için yapı endüstrisine kazandırılmasına çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

Ağadayı, R., 1997, Niğde Bölgesindeki perlit ve diyatomitin hafif yapı malzemesi olarak mineralojik-petrografik, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*Konya.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 1993, Physiological principles and thermal comfort, Atlanta. *Handbook, Fundamentals*, Chapter 8.

Antonides, L., E. 1998, Diatomite, www.usgs.gov, [2010].

Aruntaş, H. Y., 1996, Diyatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Ateş, A., 1993, Üre-formaldehit reçinelerinin üretimi ve karakterizasyonu, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Avcı, A., Yiğit, A., 1992, Değişik giysilerin ısı ve kütle transferi özelliklerinin insan konforu açısından incelenmesi, *2. Soğutma ve İklimlendirme Kongresi 1992*, 165-174.

Aydın, A.C., 1998, Diyatomit, pomza ve pasanın katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

Bahadır, M. F., 2001, Diyatomitin yüksek dayanımlı betonun mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Batum, I., 1975, Petrographische und geochemische untersuchungen in den vulkangebieten Göllü Dağ und Acıgöl (Zentralanatolien/Turkei). Doktora Tezi, *Freiburg Üniversitesi* s: 1–101.

Bayülke, N., 1998, Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No=27,245 s.

Bentli, İ., Uyanık, A. O., Demir, U., Şahbaz, O, 2005, Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı-MCET 2005,9-12 Haziran*, İzmir-Türkiye.

Bideci, A., Sallı. B..Ö., Sever, Ü, 2009, Farklı hammaddelerin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu-IATS'009, 13-15 Mayıs 2009*, Karabük-Türkiye.

Bilgil, A., 1994, Agrega ve deneyleri, Ders Notu, *Atatürk Üniversitesi*, Erzincan.

Brady, G.S., Clauser, H.R., Vaccari, J.A., 2002, Materials Handbook, pp-315, 15th ed., *McGraw-Hill Professional*, ISBN-13: 978-0071360760

Bradbury, J. P., 1988, Fossil Diatoms and Neogene Paleolimnology, *Science Direct; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 62 (4), 299-316.

British Geological Survey, World Mineral Statistics, 1998-2002, p.90.

Cavaleri, L., Miraglia, N., Papia, M., 2003, Pumice concrete for structural wall panels, *Engineering Structure*, 25, 115-125.

Chandra, S., Berntsson, L., 2002, Lightweight aggregate concrete, science, technology, and applications, *Noyes Publications William Adrew Publishing*, Norwich Newyork USA, ISBN: 0-8155-1486-7.

Ciullo, Peter A., 1996, Industrial minerals and their uses: a handbook of formulary. *William Adrew,* **ISBN-13:** 978-0815514085.

Değirmenci, N.,Yılmaz, A. 2009. Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars . *Science Direct. Construction and Building Materials*, 23: 284-288.

Demir, İ., 2008, Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks, *Science Direct. Waste Management*, 28, 622-627.

Demir, İ., Başpınar, M. S. 2003. Mermer tozu artıklarının (Havuz çökeltisi) hafif yapı blokları üretiminde kullanılması. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem' 2003) Bildiriler Kitabı. 18-19 Aralık 2003.

Demirboğa, R., Gül, R., 2003, Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures, *Science Direct. Energy and Buildings*, 35, 1155-1159.

Demirboğa, R., Örüng, İ., Gül, R., 2001, Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low density concretes, *Science Direct Cement and Concrete Research*, 31, 1627-1632.

Demirdağ, S., Gündüz, L., 2008, Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units, *Science Direct Construction and Building Materials*, 22, 135-142.

Dirican, M., 1999, Küçük Deniz Mücevherleri, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 378.

Doğan, H., Şener F., 2004, Hafif yapı malzemeleri (Pomza- perlit-ytong- gazbeton) kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik sonuç ve öneriler, http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/05163a0f0f128e4_ek.pdf?dergi=HABER%20B%DCLTEN%DD, [3 Haziran 2009].

DPT.,2000, Tuğla-Kiremit, Prefabrik Yapı Elemanları, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT:2530-OİK:546.

DPT., 2001, Genel Endüstri Mineralleri IV (Bentonit-Barit-Diatomit-Aşındırıcılar, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu Dpt: 2621-ÖİK: 632, Ankara.

Erdem, T. K., Meral, Ç., Tokyay, M., Erdoğan, T. Y., 2006, Use of perlite as a puzzolanic addition in producing blended cements, *Science Direct Cement and Concrete Composites*, doi:10.1016/j.cemconcomp.2006.07.018.

Eriç, M.,1994, Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, ISBN: 975-7860-01-08, 364 s.

Esin, T., 2007**,** Eğitim Yapılarında Konfor Koşullarının Sağlanması ve Yalıtım. *İzolasyon Dünyası,* 66, 71-74.

Fragoulisa, D., Stamatakis, M. G., Chaniotakis, E., Columbus, G., 2004, Characterization of lightweight aggregates produced with clayey diatomite rocks originating from Greece, *Science Direct Cement and Concrete Research Materials Characterization*, 53, 307-316.

Gönül, H., 2008, Bazalt skoriasının taşıyıcı yarı hafif beton üretiminde kullanımı, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Gül, R., Aydın, A., C., 2007, Influence of volcanic originated natural materials as additives on the setting time and some mechanical properties of concrete, *Science Direct Construction and Building Materials*, 21, 1277-1281.

Gündüz, L., 2008,The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties, *Science Direct Construction and Building Materials*, 22,135-142.

Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M., 2006, Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi (Journal of Clay Science and Technology)*, 1(2), 43-49.

Gürel, A., 1998, Göllüdağ (Çiftlik-Niğde) proklastik rezervlerinin sedimentolojik, petrografik, jeo-kimyasal özellikleri ve gelişimi, Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Sempozyumu, Elazığ, 63-77.

Gürel, A., Yıldız, A., 2007, Diatom communities, lithofacias characteristics and paleoenvironmental interpretation of Pliocene diatomite deposits in the Ihlara-Selime plain (Aksaray, Central Anatolia, Turkey), *Science Direct Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 170-180.

Kastis, D., Kakali, G., Stamatakis, M. G., 2006, Properties of hydration of blended cements with calcareous diatomite, *Science Direct Cement and Concrete Research*, 10, 1821-1826.

Koç, İ., Gökçe, M. V., Bilgil, A., 2008, Diyatomit esaslı yapı elemanları üretiminde çimentonun bağlayıcı olarak kullanılması üzerine bir çalışma, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim, Adana.

Kogel, J.E., Trivedi N.C., Marker J. M., Krukowski, S.T., 2006, Industrial Minerals And Rocks,Commodities, Markets, And Uses, *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (US)*, ASIN**:** B001XRL5PI.

Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T., 1997, Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Ekim 16-17*, İzmir.

Lingling, X., Wei, G., Tao, W., Nanru, Y., 2005, Study on firebricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio, *Science Direct. Construction and Building Materials*, 19, 243-247.

Litvan, G. G., Sereda, P. J., 1978, Particulate admixture for enhanced freze-thaw resistance of concrete, *Cement and Concrete Research*, 8, 53-60.

Lochonic, K., 2003, Lightweight CMU… a weight off our shoulders, *Masonry Institute of Michigan 1989*, www.escsi.org.[19 Kasım 2009].

Onche, E.O., Ugheoke, B. I., Lawal, S.A., Dickson, U. M., 2007, Effect of rice husk and diatomite on the insulating properties of Kaolin-Clay Firebricks, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 11, 81-90.

Othmer, K., 2010, Encyclopedia of Chemical Technology, *John Wiley & Sons Inc*.

Önem, Y., 1996, Sanayi madenleri: Tanımlar, doğada bulunuşları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, yıllık üretimleri, ihraç ve ithal miktarları, *Kozan Ofset*, Ankara.

Özkan Ş.G. ve Tuncer, G., 2001, Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 200-207.

Pasquaré, G., Poli, S., Venzolli, L., Zanchi, A., 1988, Continental arc volcanizm and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey, *Tectonophysics*, 146, 217–230.

Pasquaré, G., 1968, Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia, *Atti Accademei Nazionale dei Lincei Memoire*, 9, 55–204.

Pimraksa, K., Chindaprasirt, P., 2009, Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum, *Science Direct Ceramics International*, 35, 471-478.

Sarı, D., Paşamehmetoğlu, A., G., 2005, The effect of gradition and admixture on the pumice lightweight aggregate, Science Direct Cement and Concrete Research, 35, 936-942.

Schumacher, R., Keller, J., Bayhan, H., 1990, Depositional characteristics of ignimbrites in Cappadocia, Central Anatolia, Turkey, Savaşçın M.Y., Eronat, A.H. (Eds.), *International Earth Science Congress on Aegean Regions-IESCA*, 2, 435–449.

Schumacher, R., Schumacher, U.M., 1996, The Kızılkaya Ignimbrite an unusual low-aspect-ratio ignimbrite from Cappodocia, Central Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70, 107–121.

Sezgin, M., 1998. Diyatomitin Hafif Yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Sözen, M. Ş. 2001. Yapı kabuğunda ısı ve ses yönünden denetim-konfor ilişkisi, Tesisat Mühendisliği, 34-35, (http://www.mmoistanbul.org/yayin/tesisat/61/2/).

Stanton, T.E., 1940, Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, *Proceedings of the American Society for Civil Engineering*, 66, 1781-1811.

Stucki, J. W., Goodman, B. A., Schwertman, 1988. Iron in soil and clay minerals, 893 pp, Reidel Publishing, Dordrecht.

Subaşı, S., Kap, T., 2009, Genleştirilmiş kil hafif agregalı betonun yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisi, *E- Journal of New World Sciences Academy*, Volume 4, Number 1, Article number 2A0005.

Suvorov, S. A., Skurikhin, V. V., 2003, Vermiculite- A promising material for high-temperature heat insulators, *Refractories and Industrial Ceramics*, 44, 186-193.

Taliaferro, N. L., 1933, Relation of Volcanism to Diatomaceous and Associated Siliceous *Sediments, University of California. Publications in Geological Sciences*, 23, 1-55.

Tappan, H. N.,1981, The Paleobiology of Plant Protists, *W. H. Freeman & Co* (Sd), ISBN-13 978- 0716711094.

Topçu, İ. B., Işıkdağ, B., 2007, Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite, *Science Direct Building and Environment*, 42, 3540-3546.

Topçu, İ. B., Işıkdağ, B., 2008, Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete, *Science Direct Journal of Materials Processing Technology*, 204, 34–38.

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., 2006, Properties of autoclaved lightweight concrete, *Science Direct Building and Environment*, doi: 10. 1016/ j. buildenv. 2006. 11. 024

Toprak, V., 1996, İç Anadolu Bölgesi Kapadokya volkanik çökeltisinde da gelişen kuaterner havzaların kaynağı, *Karadeniz Teknik Üniversitesi 30. Yıl sempozyumu*, Trabzon, 326-340.

Türkmen, İ., Kantarcı, A., 2007, Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete, *Science Direct Building and Environment*, 42, 2377-2383.

Ugheoke, B. I., Onche, E.O., Namessan, N. O., Asikpo, G. A., 2006, Property optimization of kaolin-rice husk insulating firebricks, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 9, 167-178.

Uygunoğlu, T., Ünal, O., 2005, Yapılarda diyatomitle üretilen hafif blok elemanların kullanılması, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Eylül 22-24, Antalya, 332-340.

Ünal, O., Demir, İ., Uygunoğlu, T., 2003, Pomza ve Diyatomitin Hafif Blok Eleman Üretiminde Kullanımının Araştırılması, *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 3-4 Aralık 2003, İstanbul.

Ünal, O.,Uygunoğlu, T., Yıldız, A., 2005, Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation,, *Science Direct Building and Environment*, 42, 584-590.

Wendlandt, W. W., Collins, L. W., 1986, Thermal Analysis.

Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç, A., Gülşen, H., 2003, Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, *Science Direct Materials Letters*, 57, 2267-2270.

Yıldız, A., 1997, Seydiler (Afyon) Diyatomit Cevherinin Jeolojisi ve İzolasyon Tuğlası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

Yılmaz, B., Ediz, N., Bentli İ., 2006, Kütahya Alayurt Bölgesi Killi Diyatomitlerinin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12,95-104.

Yu, L., H., Ou, L., Lee, L., L., 2003, Investigation on puzzolanic effect of perlite powder in concrete, *Science Direct Cement and Concrete Research*, 33, 73-76.

Yüksel, N., 2005, Günümüz kamu kurumlarında yapısal konfor koşullarının tespit edilmesine yönelik bir çalışma, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2, 21-31.

TS 699. Tabii yapı taşları-muayene ve deney metotları.

TS EN 772-1. Kâgir birimler - Deney metotları - Basınç dayanımının tayini.

TS EN 772-10. Kagir birimler - Deney metotları - Kireç kumtaşı ve gazbeton birimlerde rutubet muhtevası tayini.

TS EN 772-11. Kâgir birimler - Deney metotları - Betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini.

TS EN 772-13. Kâgir birimlerde (doğal taş hariç) net ve brüt yoğunluk tayini.

TS EN 772-16. Kâgir birimler-Deney metotları-Boyutların tayini.

TS EN 772-18. Kâgir birimler - Deney metotları - Kireç kumtaşı kâgir birimlerde donma çözülmeye dayanıklılığın tayini.

TS 825. Binalarda ısı yalıtım kuralları.

TS EN 1354. Gözenekli beton-Hafif agregalı basınç mukavemeti tayini.

TS EN 1745. Kâgir ve kâgir mamulleri - Tasarım ısıl değerlerinin tayini metotları.

www.ode.com.tr [Ziyaret Tarihi: 19 Eylül 2009].

www.astm.org [Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2009].

www.escsi.org) [Ziyaret Tarihi: 21 Mayıs 2008].

www.vermiculite.org [Ziyaret Tarihi: 11 Eylül 2008].

www.veribaz.com [Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2009].

www.akg-gazbeton.com [Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2009].

www.geotimes.org [Ziyaret Tarihi: 9 Eylül 2008].

www.diatomit.com [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2008].

www.guizaotu.com/en/ [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2008].

www.neredennereye.com/harita/d3[Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2009].

www.kilnfurnace.com [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2008].

www.oreworld.com [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2008].

www.prompostavka.com [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2008].

www.umich.edu [Ziyaret Tarihi: 13 Temmuz 2008].

www.usgs.gov [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs Eylül 2008].

http://www.princeton.edu/~pccm/outreach/scsp/mixturesandsolutions/diatoms/diatom_earth.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://emtrix.dbs.umt.edu/wp/wp-content/uploads/2009/05/purplecobrade3-300x225.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.soilconditioners.co.uk/images/diatomaceous_mag.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://tbn2.google.com/images?q=tbn:g6z6qLee0fQebM:http://www.rockdetective.org/~rockdetective/tipe/pictures/Diatom4web.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.dicalite-europe.com/diatom.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.generalfiltration.com/images/diatomite.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.thiele-granit.de/files/diatomit-morocco-sem.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.anzaplan.com/imgserver/dorfnergruppe/images/picture120368.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://www.eoearth.org/upload/thumb/2/29/Diatom2.jpg/250px-Diatom2.jpg [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_c [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_b [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_a [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom17a [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom17 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom15a [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom13 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/duo_diatom [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom10 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

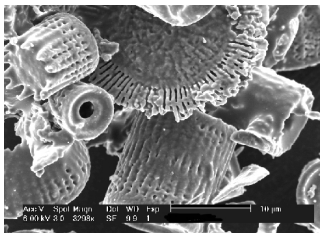
http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom9 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom2 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom6 [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2009].

EKLER

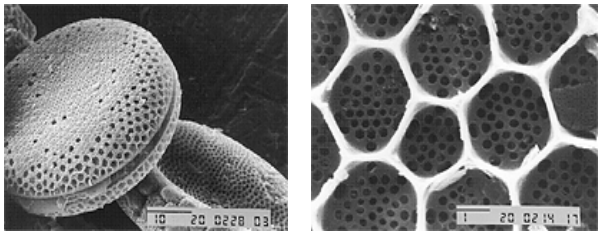
EK-1 DİYATOME TÜRLERİNE İLİŞKİN DİĞER RESİMLER



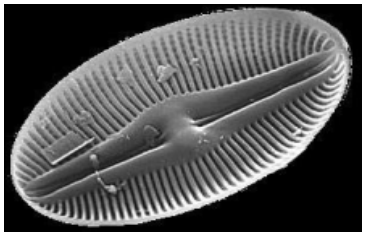
Şekil Ek1.1. Diyatome tür örnekleri
(http://www.princeton.edu/~pccm/outreach/scsp/mixturesandsolutions/diatoms/diatom_earth.jpg)



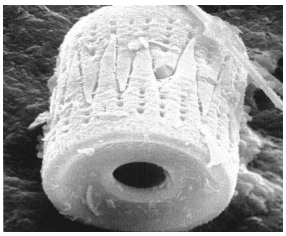
Şekil Ek1.2. Diyatome tür örnekleri
(http://emtrix.dbs.umt.edu/wp/wp-content/uploads/2009/05/purplecobrade3-300x225.jpg)



a b
Şekil Ek1.3a. Diyatome örneği b. Detay
(http://www.soilconditioners.co.uk/images/diatomaceous_mag.jpg)



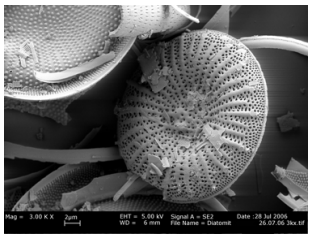
Şekil Ek1.4. Diyatome tür örnekleri
http://tbn2.google.com/images?q=tbn:g6z6qLee0fQebM:http://www.rockdetective.org/~rockdetective/type/pictures/Diatom4web.jpg



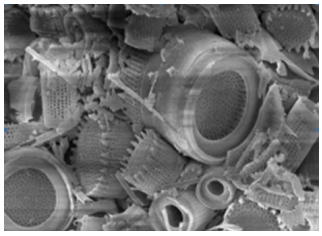
Şekil Ek1.5. Diyatome tür örnekleri
(http://www.dicalite-europe.com/diatom.jpg)



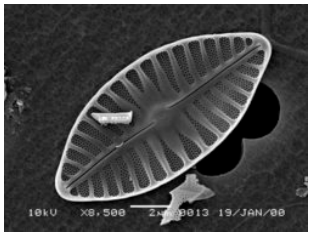
Şekil Ek1.6. Diyatome tür örnekleri
(http://www.generalfiltration.com/images/diatomite.jpg)



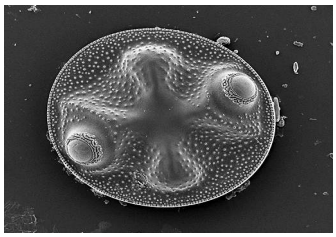
Şekil Ek1.7. Diyatome tür örnekleri
(http://www.thiele-granit.de/files/diatomit-morocco-sem.jpg)



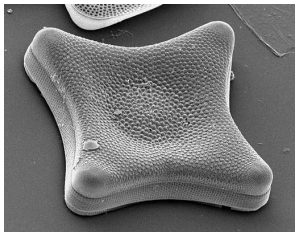
Şekil Ek1.8. Diyatome tür örnekleri
(http://www.anzaplan.com/imgserver/dorfnergruppe/images/picture120368.jpg)



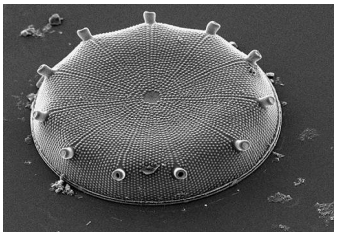
Şekil Ek1.9. Diyatome tür örnekleri
(http://www.eoearth.org/upload/thumb/2/29/Diatom2.jpg/250px-Diatom2.jpg)



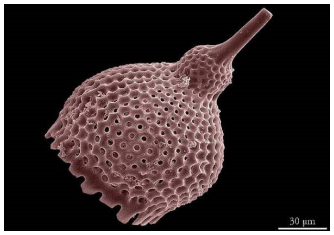
Şekil Ek1.10. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_c)



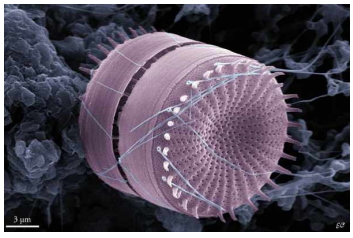
Şekil Ek1.11. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_b)



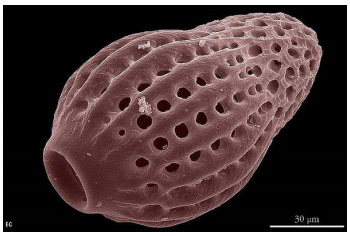
Şekil Ek1.12. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom_a)



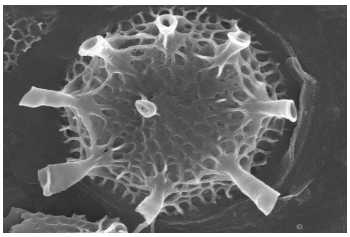
Şekil Ek1.13. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom17a)



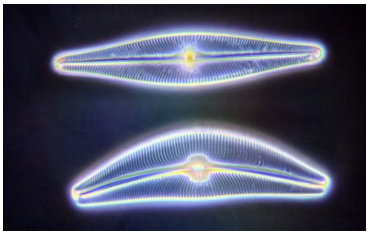
Şekil Ek1.14. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom17)



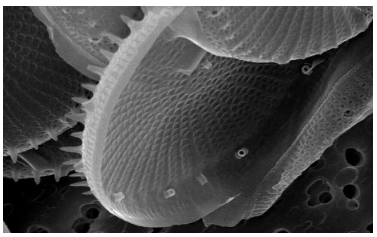
Şekil Ek1.15. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom15a)



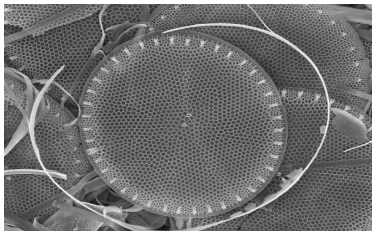
Şekil Ek1.16. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom13)



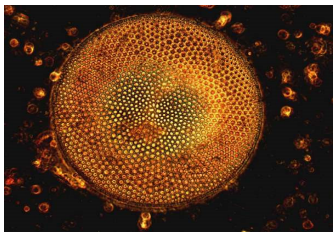
Şekil Ek1.17. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/duo_diatom)



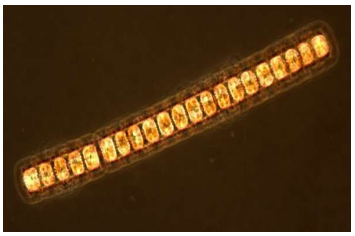
Şekil Ek1.18. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom10)



Şekil Ek1.19. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom9)



Şekil Ek1.20. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom2)



Şekil Ek1.21. Diyatome tür örnekleri
(http://photos.signonsandiego.com/diatoms/diatom6)

EK-2 DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR



Şekil Ek2.1. İnce kesitleri fotoğraflamakta kullanılan polarizan mikroskop (NIKON ECLIPSE E 400 POL)



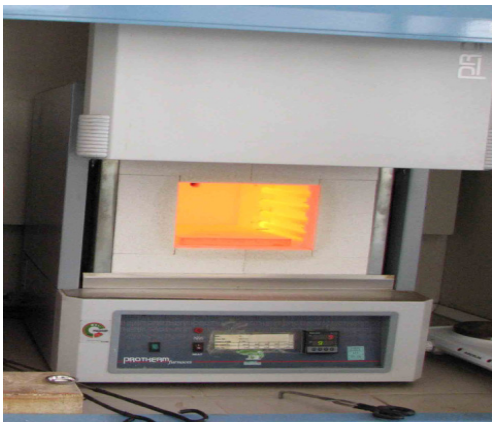
Şekil Ek2.2 SEM görüntülerinin alındığı tarayıcı elektron mikroskobu (LEO 440)



Şekil Ek2.3. Elementel analiz (EDX) cihazı



Şekil Ek2.4. Diyatomitin kimyasal analizinde kullanılan X Ray cihazı (SPECTRO XEPOS)



Şekil Ek2.5. Diyatomitin kızdırma kaybı tespitinde analizinde kullanılan kül fırını (PROTHERM)



Şekil Ek2.6. Diyatomitin rutubet içeriği tespitinde kullanılan **cihaz** (SARTORIUS MA45)



Şekil Ek2.7 Diyatomiti öğütmekte kullanılan yatay eksenli bilyeli değirmen



Şekil Ek2.8. Basınç dayanım testlerinde kullanılan pres



Şekil Ek2.9. Vicat çökme deney aygıtı



Şekil Ek2.10 Numuneleri pişirmekte kullanılan etüv



Şekil Ek2.11. Numunelerin kesim işlemi



Şekil Ek2.12 Diferansiyel termal analiz (DTA)cihazı



Şekil Ek2.13. XRD analiz cihazı



Şekil Ek2.14. Eğilme momentinin ölçümünde kullanılan cihaz



Şekil Ek2.15. Piknometre düzeneği

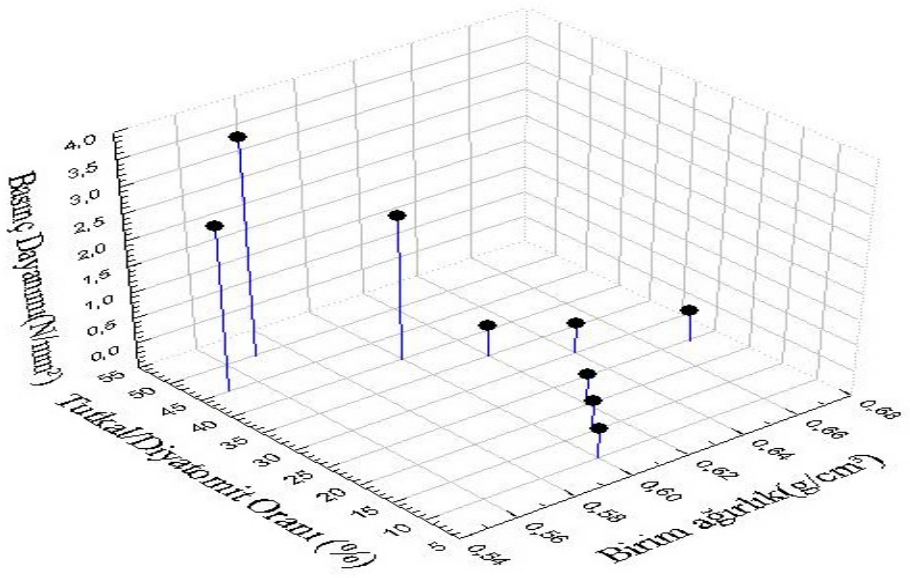


Şekil Ek2.16. Archimedes terazisi

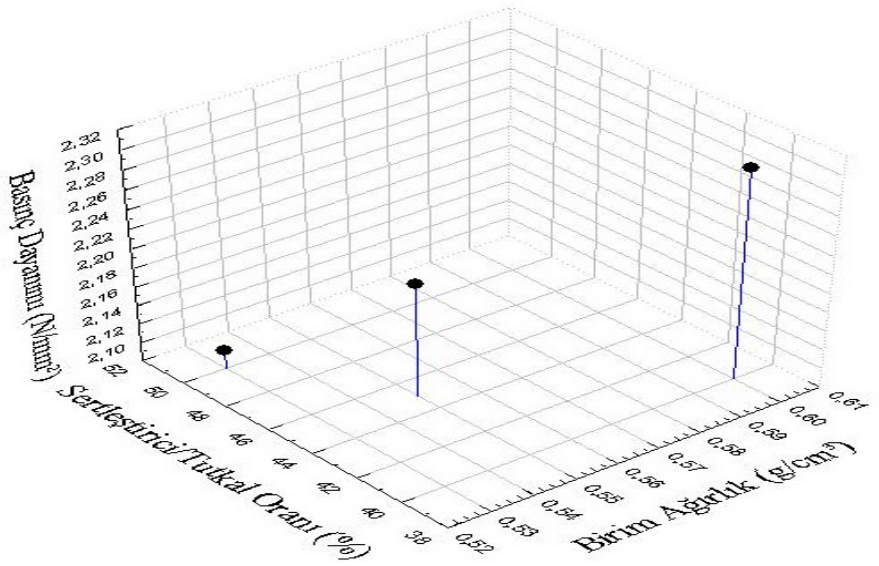


Şekil Ek2.17. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı

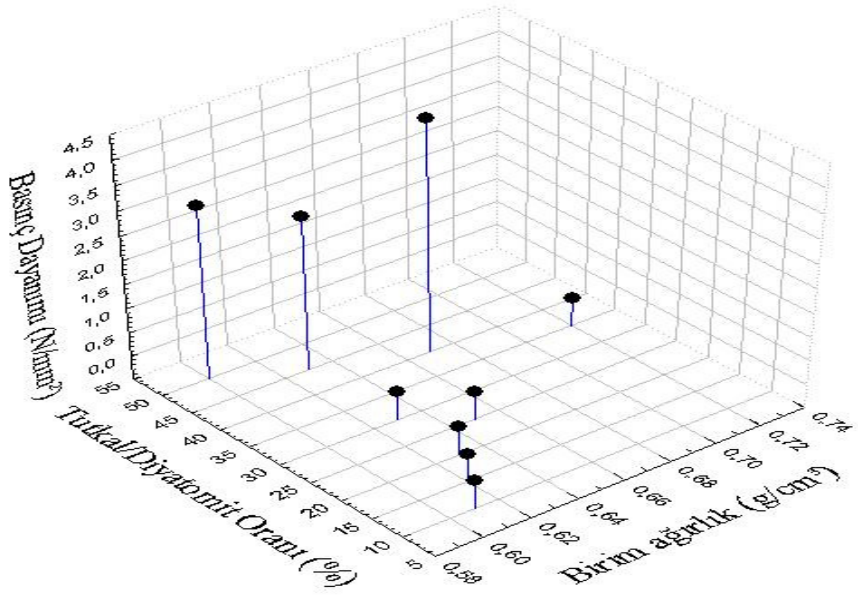
EK-3 DENEY SONUÇLARINA AİT ÜÇ BOYUTLU GRAFİKLER



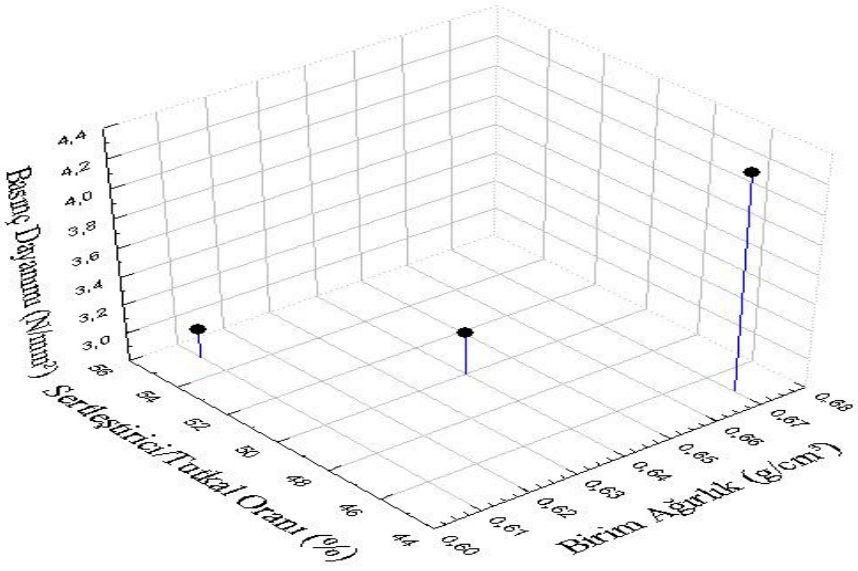
Şekil Ek3.1. 80 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



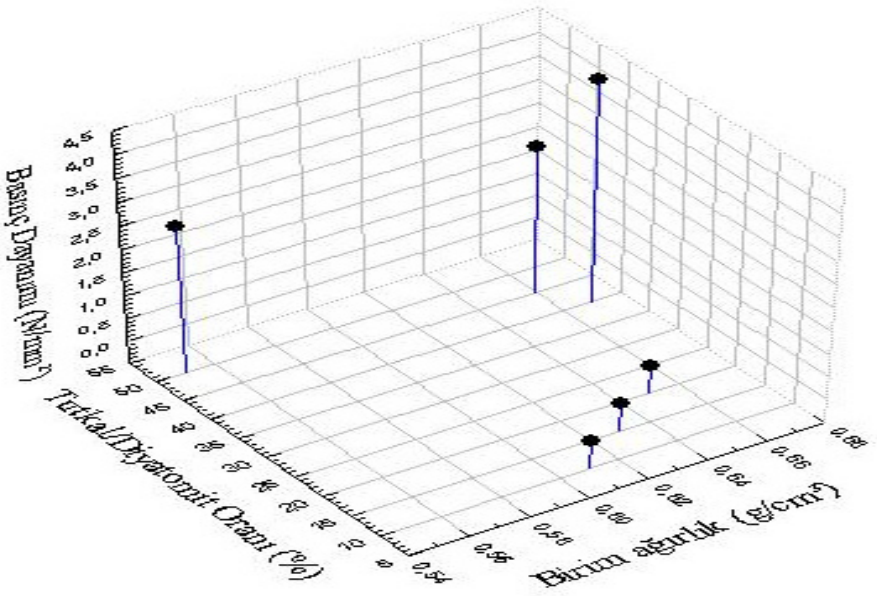
Şekil Ek3.2. 80 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



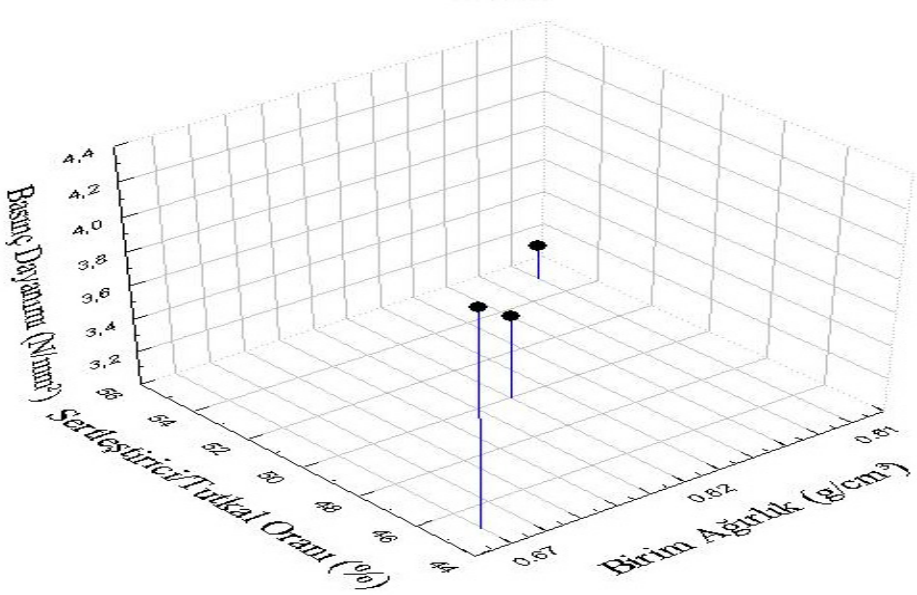
Şekil Ek3.3. 90 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



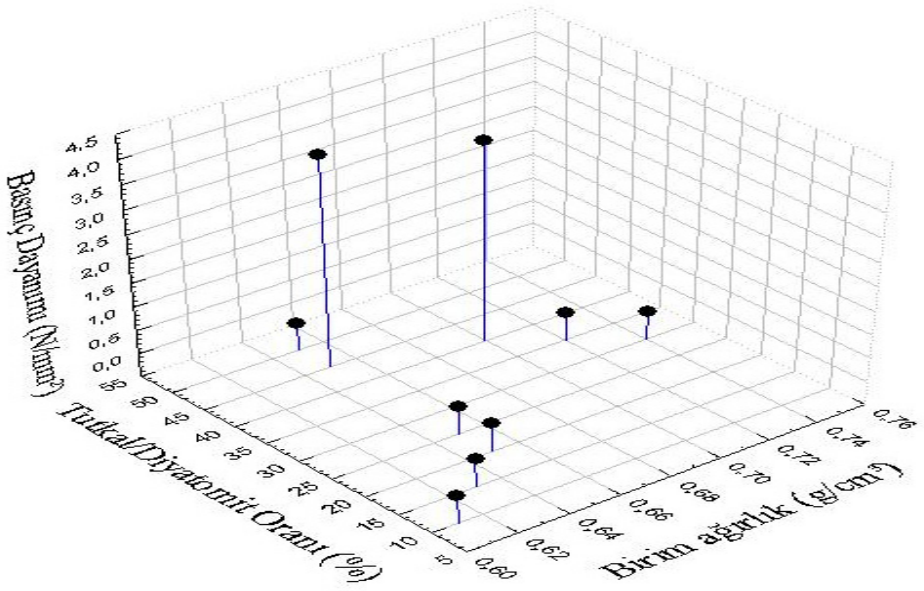
Şekil Ek3.4. 90 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



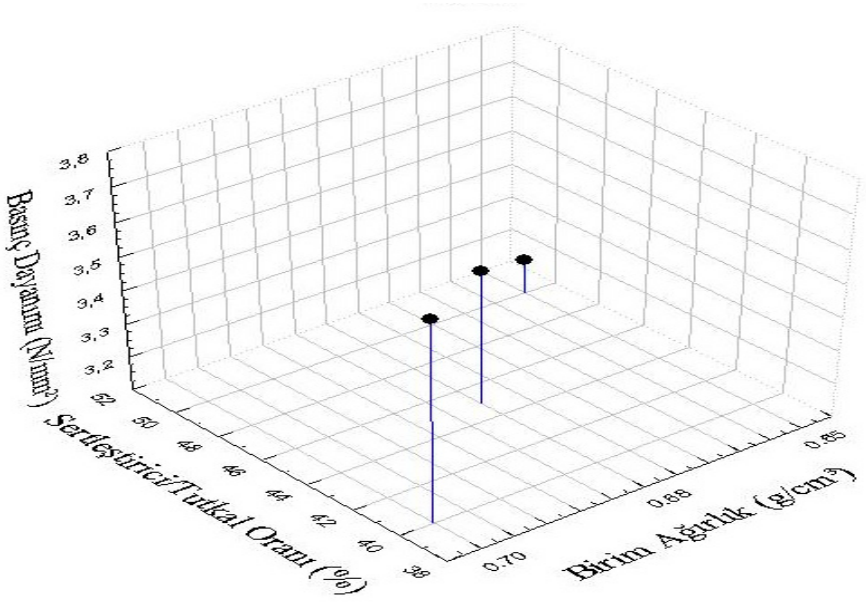
Şekil Ek3.5. 100 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



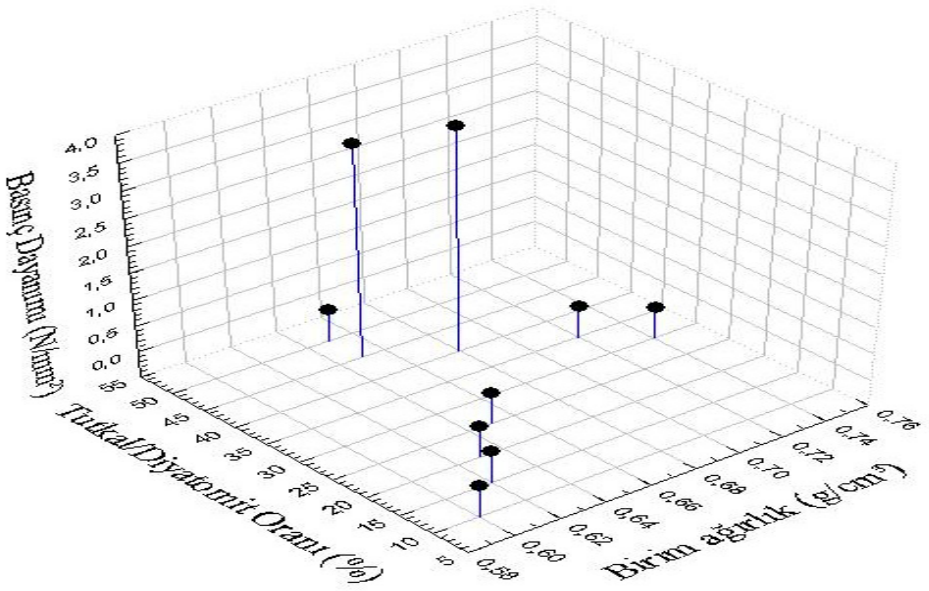
Şekil Ek3.6. 100 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



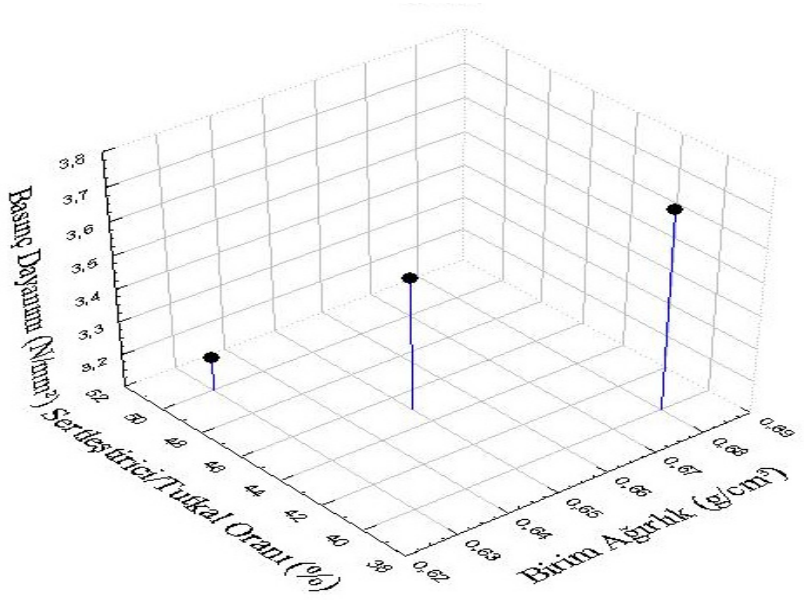
Şekil Ek3.7. 110 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



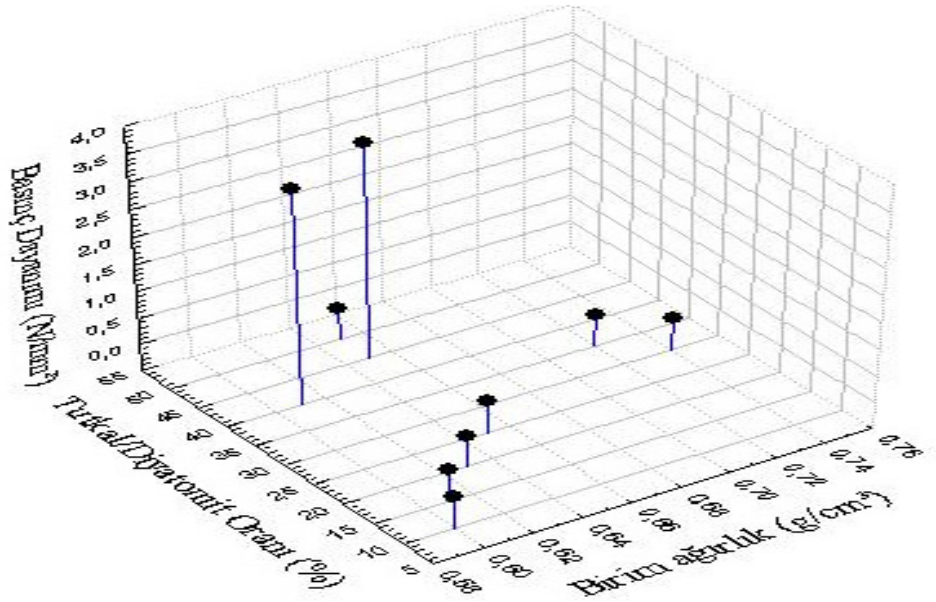
Şekil Ek3.8. 110 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



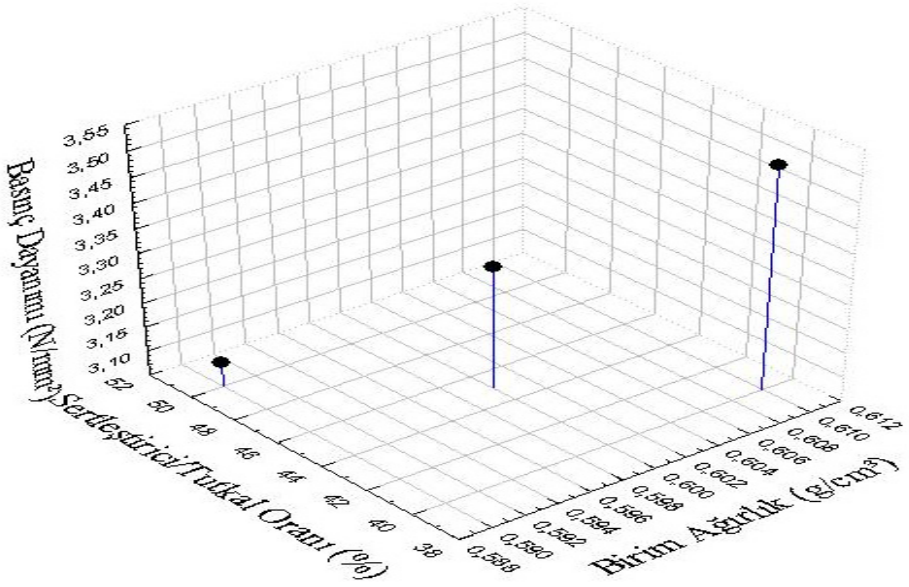
Şekil Ek3.9. 120 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



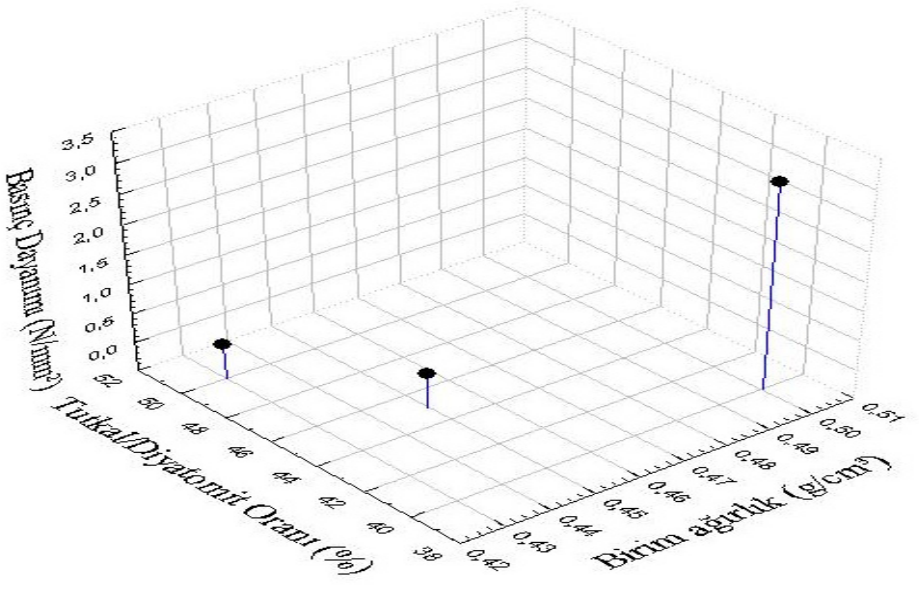
Şekil Ek3.10. 120 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



Şekil Ek3.11. 130 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



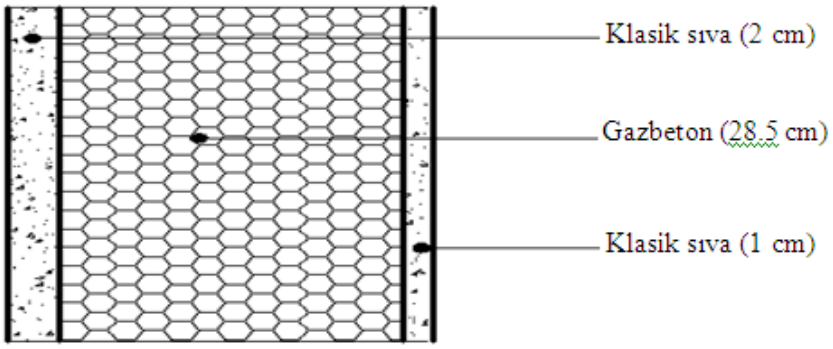
Şekil Ek3.12. 130 °C pişirme sıcaklığında, s/t oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi



Şekil Ek3.13. 140 °C pişirme sıcaklığında, t/d oranına göre birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı ilişkisi

EK-4 ÖRNEK DUVAR HESABI

Şekil Ek4.1'de 28.5 cm "Gazbeton" kullanılarak, Niğde'nin de içinde bulunduğu, TS 825'e göre "3. Bölge" olarak tanımlanan bölgeye göre tasarlanan bir duvar kesiti verilmiştir. TS 825, bu bölgede duvarın ısı geçirgenlik (U) değerinin 0.50 W/m²K şartını sağlamasını tavsiye etmektedir.



Şekil Ek4.1. Gazbeton duvar bileşenleri

Çizelge Ek4.1'de ise bu bileşenlere ait değerler verilmiştir.

Çizelge Ek4.1. Gazbeton duvar kesitine ait malzeme değerleri

Malzeme (Dıştan içe doğru)	Isı İletkenlik Katsayısı λ (W/mk)	Birim Ağırlık Kg/m³	Kalınlık cm	Standart
Klasik Sıva	1	1800	2.00	TS 825
Gazbeton	0.16	600	28.50	TS 825
Alçı sıva	0.51	1200	1.00	TS 825

Bu kesit için bir ısı geçirgenlik hesabı yapılmak istenirse, ısı geçirgenlik direnci 1/λ;

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda b_i} \ (W/m^2k) \qquad \text{(Ek4.1)}$$

Formülünden,

$\frac{1}{\lambda} = \frac{0.02}{1.00} + \frac{0.285}{0.16} + \frac{0.01}{0.51} = 0{,}02 + 1{,}781 + 0{,}019 = 1{,}82\ W/m^2k$ bulunur.

Burada, d_i metre olarak eleman kalınlığını, λh_i ise o elemana ait ısı iletkenlik değerini vermektedir.

Duvarın ısı geçirgenlik değeri "U" ise;

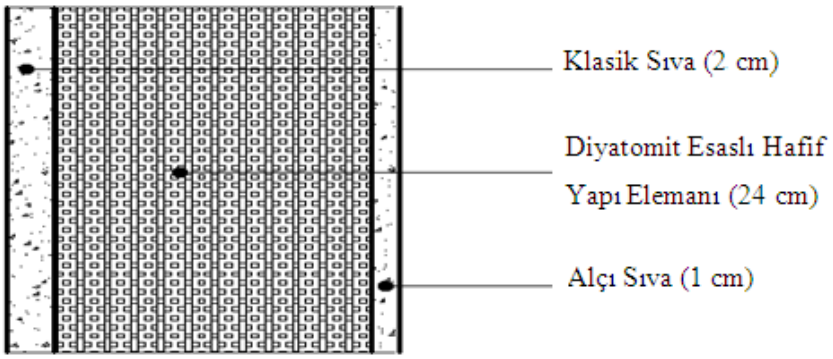
$$U = \frac{1}{\alpha_{iç} + \frac{d_i}{\lambda} + \alpha_{dış}} \text{ (W/m}^2\text{K)} \qquad \text{(Ek4.2)}$$

formülünden,

$U = \frac{1}{0.13+1.89+0.04} = 0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunur.

Burada $\alpha'_{iç}$, iç yüzey yüzeysel ısı taşınım direnci, $\alpha'_{dış}$ ise dış yüzey ısı taşınım direncidir.

Benzer bir hesap, bu çalışma çerçevesinde üretilen diyatomit esaslı hafif yapı elemanı için yapılmıştır. Bu durumda oluşacak duvar kesitinin bileşenlerine ait çizim Şekil Ek4.2'de, duvarı oluşturan malzemelere ait değerler ise Çizelge Ek4.2'de verilmiştir.



Şekil Ek4.2 Diyatomit esaslı hafif yapı elemanı duvar bileşenleri

Çizelge Ek4.2. Diyatomit esaslı hafif yapı elemanı duvar kesitine ait malzeme değerleri

Malzeme (Dıştan içe doğru)	Isı İletkenlik Katsayısı λ (W/mk)	Birim Ağırlık Kg/m³	Kalınlık cm	Standart
Klasik Sıva	1	1800	2,00	TS 825
Diyatomit Esaslı Hafif Yapı Elemanı	0,134	648	25,00	-
Alçı Sıva	0,51	1200	1,00	TS 825

Yine, aynı hesap diyatomit esaslı yapı elemanı için yapılırsa; Ek4.1 formülü kullanılarak, bu kompozisyondaki bir duvara ait ısı geçirgenlik direnci;

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{0.02}{1.00} + \frac{0.24}{0.134} + \frac{0.01}{0.51} = 0.02 + 1.79 + 0.019 = 1.83 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

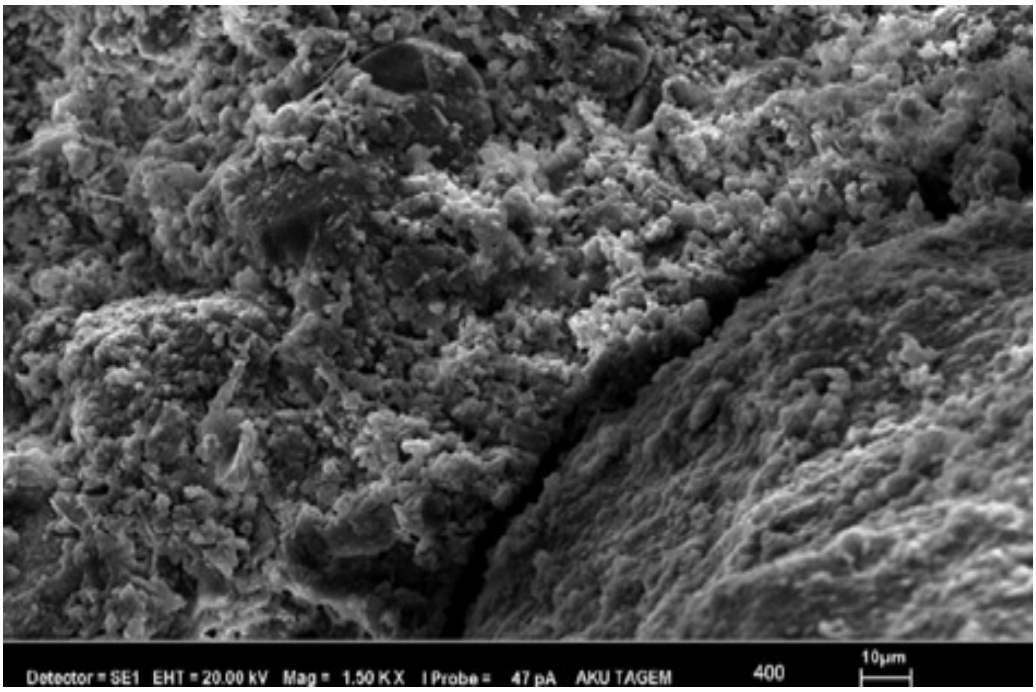
$\frac{1}{\Lambda} = \frac{0.02}{1.00} + \frac{0.24}{0.134} + \frac{0.01}{0.31} = 0.02 + 1.79 + 0.019 = 1.83\ W/m^2K$ olarak bulunur.

Aynı şekilde duvarın ısı geçirgenlik katsayısı "U" ise;

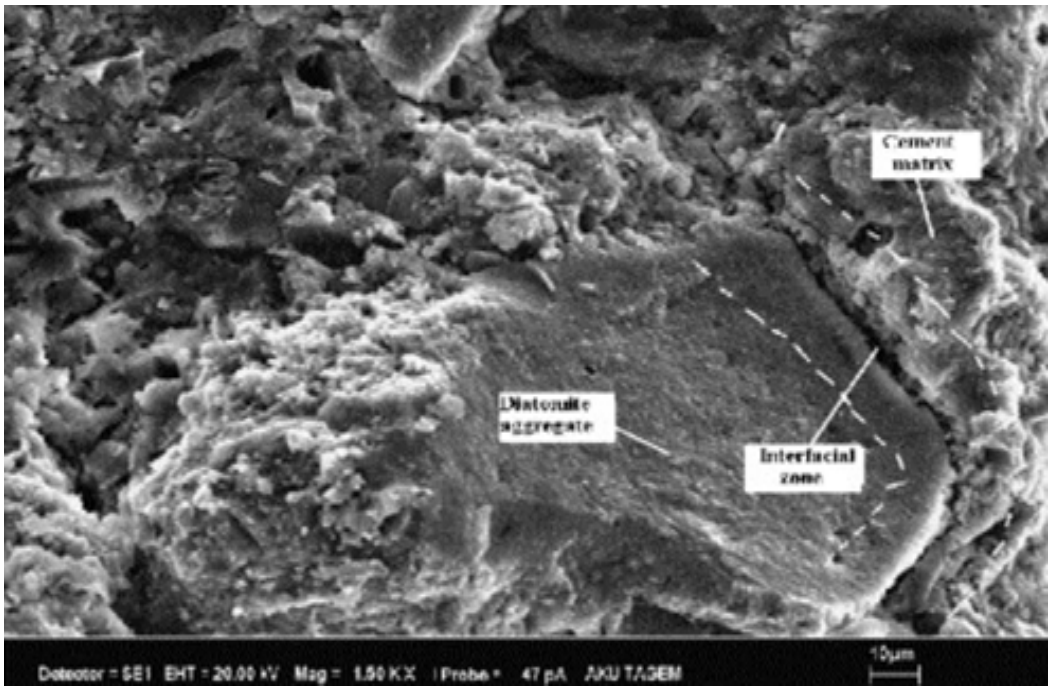
$U = \frac{1}{0.13+1.83+0.04} = 0.50\ W/m^2K$ olarak elde edilir.

Bu hesaplar karşılaştırıldığında, aynı birim ağırlıktaki gazbeton ile ve diyatomit esaslı hafif yapı elemanı ile örülecek bir dış duvarda; Türk Standartları tarafından öngörülen ısı yalıtım direncine, gazbetona göre 4.5 cm daha az kalınlıktaki bir diyatomit esaslı hafif yapı elemanı ile oluşturulacak duvarla ulaşılabildiği anlaşılmaktadır.

EK-5 DİYATOMİT/ÇİMENTO BAĞ ARAYÜZÜ RESİMLERİ



Şekil Ek5.1. 400 kg/m çimento dozajında diyatomit ve çimento ara yüzünün SEM görüntüsü (×1500), Ünal ve ark. (2005)



Şekil Ek5.2. Diyatomit agregası-çimento matriks ara yüz bölgesi SEM görüntüsü (×1500), Topçu ve Uygunoğlu (2007)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmedi Vehbi GÖKÇE
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Ereğli-KONYA, 26.05.1960
Telefon : 0 388 232 99 86, 0 506 515 08 61
Faks :
e-mail : mvehbi@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Cumhuriyet Lisesi, Ereğli-Konya**	**1977**
Üniversite	:	**İstanbul Teknik Üniversitesi, Taşkışla, İstanbul**	**1983**
Yüksek Lisans	:	**Niğde Üniversitesi, Merkez, Niğde**	**2002**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1984-1987	**Mekke Toplu Konut Projesi, Suudi Arabistan**	**Büro-şantiye**
1987-1989	**Taif Su ve Kanalizasyon Projesi, Suudi Arabistan**	**Ev Bağlantıları**
1991-1995	**Özel Mimarlık Bürosu, Ereğli-Konya**	**Kendi bürosu**
1995-	**Niğde Üniversitesi**	**Uzman**

UZMANLIK ALANI: Yapı bilgisi, yapı üretimi, mimaride depremsellik.

YABANCI DİLLER: İngilizce (Çok iyi), İtalyanca (Orta), Arapça(Orta).

YAYINLAR:

1- Koç, İ., Gökçe, M. V., Bilgil, A., 2008, Diyatomit esaslı yapı elemanları üretiminde çimentonun bağlayıcı olarak kullanılması üzerine bir çalışma, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim, Adana (Doktora tezinden yapılmıştır).

2- Koç, İ., Bilgil, A., Gökçe, M. V., Fener, M., Gürel, A. 2010, Üre-formaldehitin diyatomit kayaçlarından hafif yapı elemanı üretiminde kullanılabilirliğinin irdelenmesi, 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, 3-5 Kasım, İstanbul (Doktora tezinden yapılmıştır).