



JOURNAL OF ART AND DESIGN RESEARCHES
SANAT ve TASARIM
ARAŞTIRMALARI
DERGİSİ

Diyatomit Esaslı Tuğlaların Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Granit Tesisleri Atıklarının Kullanılması

Use of Granite Plant Wastes in Improving Mechanical Characteristics of Diatomite-Based Bricks

Mehmedi Vehbi GÖKÇE

Özet

Diyatomit, yüksek oranda silika içeren ve yüksek oranda boşluklu, organik esaslı bir kayadır. Boşluklu bir mineral olması, ısı iletkenlik direnci yönünden olumlu bir özellik olurken basınç ve eğilme dayanımı açısından olumsuzluk olarak kendisini göstermektedir. Diğer taraftan, granit işleme tesislerinde büyük miktarlarda çok ince parçacıklı testere altı atıklar oluşmaktadır. Bu atıklar açık alanda depolanmaktadırlar ve alan kaybına, rüzgâr etkisiyle uçarak canlılarda solunum hastalıklarına ve yeraltına sızarak yeraltı su kaynaklarının kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, granit tesisi atıklarının diyatomit esaslı tuğlaların basınç ve eğilme dayanımlarının iyileştirilmesine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, diyatomite ağırlıkça %20 ile %70 arasında atık eklenmiş ve yapılan ilavenin sadece diyatomitten üretilen örnekler göre birim ağırlığa, basınç ve eğilme dayanımına etkileri araştırılmıştır. Yapılan ölçümlerde artan atık miktarı ile birlikte bu üç özelliğe de artışlar tespit edilmiştir. Sadece diyatomitten üretilen tuğlaların birim hacim ağırlığı, basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 0,62 gr/cm³, 1,83 N/mm² ve 0,87 N/mm² olarak elde edilmiştir. Aynı değerler %20 granit tozu katkısı ile sırasıyla 1,20 gr/cm³, 6,05 N/mm² ve 2,30 N/mm², %70 granit tozu katkısı ile 1,38 gr/cm³, 9,12 N/mm² ve 3,50 N/mm² olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler, granit tesisleri atıklarının diyatomit esaslı tuğlaların temel mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Diyatomit, granit, atık, tuğla, mekanik özellikler.

Abstract

Diatomites are organic-based rocks with a high content of silica and a high porosity percentage. High porosity is a positive feature in terms of thermal conductivity resistance, while it is not so regarding compressive and flexural strength. Besides, large amounts of fine-particle sub-saw waste are generated in granite plants. These wastes lead to loss of space, respiratory disease, and deterioration of underground water quality. In this study, effects of granite wastes on compressive and flexural strengths of diatomite-based bricks were investigated. For this purpose, wastes were added to diatomite ranging from 20% to 70% by weight, and effects of this addition on unit weights, compressive and flexural strengths were investigated compared to the samples produced from diatomite alone. Unit weights, compressive and flexural strength values of bricks of diatomite were obtained as 0.62 gr / cm³, 1.83 N / mm² and 0.87 N / mm², respectively. While these values were 1.20 gr / cm³, 6.05 N / mm² and 2.30 N / mm² respectively with 20% waste addition, they were 1.38 gr / cm³, 9.12 N and 3.50 N / mm² respectively with 70% waste addition. These results showed that granite plant wastes could be used in improving basic mechanical characteristics of diatomite-based bricks.

Keywords: Diatomite, granite, waste, brick, mechanical characteristics.

- **Alıntılama:** Gökçe, M. V. (2021). Diyatomit esaslı tuğlaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde granit tesisleri atıklarının kullanılması. Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi, 2(2), 77–95.
- **Sorumlu Yazar:** Doçent Doktor, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü. Niğde, vgokce@ohu.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-3447-375X.

Giriş

İnsanoğlu yeryüzünde var olduğundan beri barınma ihtiyacı duymuş, içinde bulunduğu ortamı, çalışma veya yaşama alanı olmasına göre, mevcut imkânları 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 başarılar ortaya koyma fırsatı vermiştir.

İnsanoğlu özellikle barınma ihtiyacını karşılamak için ilk aşamada, yaşadığı coğrafyada bulunan mağaraları kullanmıştır. Yerleşik topluluklar düzenine geçmesi ile de parçalı gereçlerle oluşturduğu ilkel yapılarla barınma sorununu çözmeye çalışmıştır. Doğada bulunan taş, ahşap, saz, kamış gibi gereçlerle oluşturduğu ilk yapılar, bu malzemelerin bulunmadığı veya az bulunduğu bölgelerde insanları arayış içine itmiştir. Sonuçta, çevresinde bolca bulunan toprağı yapıda kullanabilmek için onu biçimlendirip dayanıklı hale getirmiş, kerpici bulmuştur. M.Ö. 3000 yılında Mısırlılar, güneşte pişirdikleri tuğlaların sonradan çatlamasını önlemek için, balçığın içerisine saman parçaları koymayı öğrenmişlerdir. Kerpicin uzun ömürlü olmaması ve dış etkenlerden dolayı çabuk bozulması, killi toprağın pişirilmesi ile giderilmiştir. Isı arttıkça tuğlaların daha çok dayanıklılık kazandığını fark eden Mezopotamyalılar, tuğlaları güneşin altında kuruttuktan sonra, bin dereceye varan sıcaklıktaki fırınlarda pişirmişlerdir. Böylece ilk tuğla gereci, insanlığa kazandırılmıştır.

Zamanla teknolojideki ilerlemeler imalata yansıtılmış ve tuğla, mimarideki gerçek yerini almıştır. Avrupa'da gerçekleşen Endüstri devrimi sırasında, tuğlaların yapımı da fabrikasyon imalatına evrilmiştir. İlerleyen yıllarda ise yeterli bilgi ve teknoloji birikimi daha da artmış ve 1930 yılından başlayarak çimento ve kül karışımından briket üreten tesisler kurulmuştur. 19. ve 20. yy dünya mimarisinde tuğla, mimarinin vazgeçilmez bir ögesi olarak kalıcı bir yer edinmiştir. Ancak mevcut tuğla yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile daha hafif alternatif tuğla üretimine yönelik AR-GE çalışmaları da 21. yüzyılda en güncel konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hafif malzemeler bina yükünü önemli oranda azaltmaktadır. Yeni inşaat teknolojilerinde binaların yükü, konstrüksiyon sistemlerine dağıtmakta duvar, bölme, tavan, döşeme ve sıvalarda hafif ve yalıtım değerleri yüksek yapı malzemeleri kullanılmakta ve binalar ağır yüklerden kurtarılmaktadır.

Günümüz teknolojisinde hafif yapı malzemelerinin üretimi için genellikle endüstriyel hammaddeler kullanılmaktadır. Bu da fayda/masraf fonksiyonunda önemli girdilere ve çevre sorunlarına neden olduğu için yeni arayışları beraberinde getirmektedir. Her bir endüstriyel hammaddenin kendi içinde birer kıt kaynak olduğu kabulünden yola çıkarak, hem kullanılan endüstriyel maddenin tüketimini en aza indirmek hem de aynı maddenin temel bazı indeks özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek amacıyla diğer endüstriyel maddelerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların kullanımı ve yapı endüstrisinde değerlendirilmesi de araştırmacıların ilgisini çeken önemli sorunlardan biri olmuştur. Günümüzde bir yapı

malzemesinin üretimi sırasında ortaya çıkan atıklar, çözülmesi gereken önemli birer sorun olarak ortaya çıkmaktadır. İnsan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla, bu tür atıkların azaltılmasına çalışılmaktadır. Ancak, her hâlükârda üretim sonrası oluşan atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek ayrı bir önem kazanmaya başlamıştır (Akbulut ve Gürer, 2006). Zira yönetilemeyen doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır (Çelik, 2004). Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Oysa atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir (Kaya ve Turan, 2004). Hafif yapı malzemesi üretimi için kullanılan endüstriyel atıkların başında bitki artıkları, silis dumanı, atık lastikler, taş ve mermer ve granit tesislerinde atık olarak çıkan tozlar ile kömüre dayalı üretim tesislerinin atık külleri gelmektedir.

Sadece Kırşehir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir granit işleme tesisinde, halen blok kesimi yapan 4 adet katrağ bulunmaktadır. Her bir katrağın ortalama kapasitesi 220 m³/yıl'dır. 2 cm kalınlığında granit plaka üretimi sırasında blokların ortalama % 25'i soket ve metal granüllerce öğütülmektedir. Yıllık 1080-1100 m³ bloğun toz atık miktarı 800 tondan fazladır. Granit tozları soğutma suyu ile birlikte çamur şeklinde arıtma sistemine gönderilir. Ayrıştırılan su, sisteme geri beslenirken kek halindeki granit tesis atığı fabrika sınırları içerisinde bulunan mevsimlik dere yatağı kenarına atılmaktadır.

Granit tesis atığı içerisinde yer alan silis, metal ve bileşimleri çevre ve insan yaşamı için risk oluşturabilmektedir. Bu grup atıklar, sınırlandırıcı ve korumacı tedbirler alınmaksızın ve kontrolsüz olarak açık alanlarda depolanmaktadır. Atık çamurun kuruması sonrası toz atıklar havaya karışabilmektedir. Özellikle silis tozları başta insan olmak üzere ve hayvanların solunum sistemlerinde ciddi rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Daha çok bir meslek hastalığı olarak bilinen silikozisin yanı sıra tüberküloz ve skleroderma (deri sertleşmesi hastalığı) gibi hastalıkların nedeni silis tozudur. Diğer taraftan, atık içerisindeki metal ve mineralleri yağmur veya yüzey suları ile birlikte yeraltı su kaynaklarına ulaşabilmektedir. Bu durum, yeraltı suları için önemli bir tehlikedir. Su sertliği (pH) ve elektriksel iletkenlikteki (EC) bir değişim ve bozulma, insan sağlığının yanı sıra hayvanlar ve sulama suları için de son derece önemlidir. Aşındırıcı granül de içeren granit toz atıklarının tane boyu 100 mikrondan küçüktür (98 µm). Atık tozu için d₅₀=58 µm'dir. Döküm sahasının jeolojik yapısı araştırılmadan ve hiçbir ön ve son tedbir alınmadan atıkların araziye kontrolsüz olarak dökülmesi, atık tane boyu ve dağılımı özelliklerinin etkisiyle toprağın geçirimsizliğini azaltmaktadır. Bu durum, yeraltı su rezervuarlarının beslenmesini engellemekte ve doğal su dengesini bozmaktadır.

Çalışmada Niğde ve çevresinde zengin rezervleri bulunan diyatomit mineralinin ve Kırşehir'de bulunan granit tesisleri atıklarının yapı sektöründe birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, diyatomit gibi yerel hammadde rezervlerinin endüstriye kazandırılması ve granit

tesisi atıklarının çevresel etkilerinin azaltılmasının yanı sıra daha ucuz hammadde ve yeni katma değerlerin sağlanması da amaçlananlar arasındadır.

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 kırılabilir parçacıklar bulunan amorf yapılu 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). Doğal diyatomitin tipik kimyasal yapısı çıkarıldıkları yataklara göre küçük değişikliklerle, en az ve en çok olmak üzere %70~90 silis (SiO₂); %0,13~0,97 sodyum oksit (Na₂O); %3~10 alüminyum oksit (Al₂O₃); %1~6,85 demir oksit (Fe₂O₃); %0,10~1,21 titanyum oksit (TiO₂); %0,04~0,21 fosfat (PO₄); %0,19~3 kireçtaşı (CaO); %0,11~1,64 magnezyum oksit (MgO) ve %0,13~1,47 potasyum oksit (K₂O) olarak belirlenmiştir. Hacminin %90 oranında boşluklu olması diyatomitin en büyük avantajıdır.

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 üretilmemektedir (Gökçe ve Koç, 2012).

Literatürde, öğütülmüş diyatomitin çimento katkısı olarak, hafif beton üretiminde agrega olarak, çatı yalıtımında doğrudan döşeme üstüne serilerek ve dekoratif alçı plakların ağırlıklarının hafifletilmesinde katkı olarak kullanımını araştıran çalışmalar mevcuttur (Aruntaş, 1996; Aydın, 1998; Bahadır 2001; Yılmaz ve ark., 2006; Kastis ve ark. , 2006; Gül ve Aydın, 2007; Sezgin, 1998). Bu çalışmalarda diyatomit katkısının çimentolu sistemlerde basınç dayanımını ve eğilmede çekme dayanımını düşürdüğünü, ancak sülfat direncini artırdığını tespit edilmiştir. Ünal ve ark. (2005), çimento ile diyatomit agregaları arasındaki bağ ara yüzünün çok zayıf olduğunu tespit etmişlerdir.

Onche ve ark. (2007), kaolin ve kilden üretilen tuğlaların yalıtım özelliklerini iyileştirmek için, daha önce Ugheoke ve ark. (2006) tarafından tuğla hamuru kompozisyonuna eklenen piring kabuğuna diyatomiti de eklemiş; 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 üretmişlerdir. Pimraksa ve Chindaprasirt (2009), diyatomiti %15 kireç, %5 alçı ile bağlamışlar ve bu karışımın hafif tuğla yapımında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Gökçe ve Koç (2010), diyatomiti üre-formaldehitle bağlayarak bölücü eleman olarak kullanılabilir özelliklerde tuğla üretmişlerdir.

Literatürden de anlaşılacağı üzere çoğu araştırmalar diyatomitin çimentolu sistemlere puzolanik katkı olarak ya da agrega olarak katılması yönünde yapılmıştır. Oysa diyatomit tuğla ya da ısı iletkenliği düşük yapı elemanı üretiminde ana malzeme olarak kullanılmadıkça bu mineralden tam olarak yararlanılmış sayılamaz. Bu amaçla, çalışmada tuğla üretiminde diyatomit ana malzeme olarak kullanılmış ve diyatomit esaslı tuğlaların basınç ve eğilme dayanımlarını iyileştirmek amacıyla diyatomite ağırlıkça %20 ile %70 arasında granit tesisi atığı eklenerek üretilen numunelerin birim ağırlığı, basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir.

Materyal ve Metot

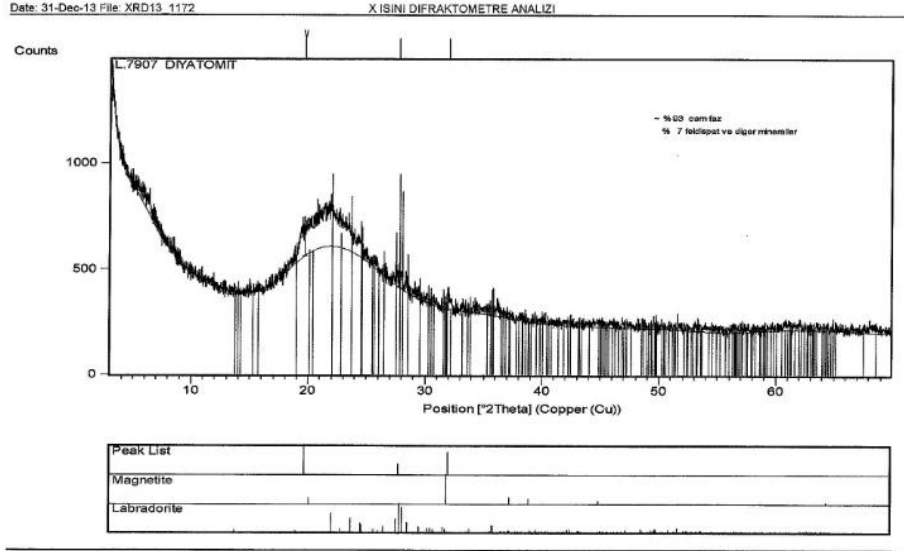
Çalışmada kullanılan iki temel malzeme diyatomit ve granit tesisi atığı tozlarıdır. Diyatomit, Nevşehir Ürgüp'te bulunan rezervlerden elde edilmiştir (Görsel 1, Görsel 2). Bu rezervlere ait XRD analizleri yapılmış ve sonuçlar Görsel 3'te grafik olarak, Tablo 1'de ise mineral oranları olarak verilmiştir. Analize ait veriler incelendiğinde diyatomitin yüksek silika oranı üretim açısından olumlu bir göstergedir.



Görsel 1. Nevşehir Ürgüp diyatomit rezerv alanı konumu (Google Earth)



Görsel 2. Nevşehir Ürgüp'ten elde edilen kayaç diyatomit



Görsel 3. Diyatomit örneğine ait XRD grafiği

Tablo 1

Diyatomit örneğine ait kimyasal analiz değerleri.

Bileşik	Oranı (%)
SiO ₂	87,72
Al ₂ O ₃	2,77
TiO ₂	0,13
Fe ₂ O ₃	2,15
CaO	2,02
MgO	0,43
Na ₂ O	0,16
K ₂ O	0,08
SO ₄	0,02
K.K.	4,65
Toplam	100,11

Çalışmada kullanılan granit tesis atığı da Kırşehir’de bulunan Granitaş A.Ş. tarafından işletilmekte olan granit tesisinden temin edilmiştir. Atığa ait kimyasal analiz tablosu Tablo 2’de verilmiştir. Bu malzemeye ait değerler de tuğla üretimi için uygun değerler içermektedir (Görsel 4).



Görsel 4. Kırşehir Granitaş tesislerinden edinilen granit tozu

Tablo 2

Granit işleme tesis atığının kimyasal analiz sonuçları.

Bileşik	Atıktaki oranı (%)
SiO ₂	68,36
Al ₂ O ₃	13,82
Fe ₂ O ₃	7,90
CaO	5,15
MgO	1,81
SO ₃	0,33
Na ₂ O	2,25
K₂O	4,07

Çalışmada kullanılan kil ise Niğde Kolsuz Bölgesinde bulunan kil yataklarını işleten Çimsa Niğde Tesislerinden sağlanmıştır. Kolsuz kil sahası, Niğde-Adana karayolu üzerinde Niğde iline 40 km uzaklıktaki Kolsuz köyünün kuzey batısında yer almaktadır. Kolsuz kiline ait kimyasal analiz Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Kolsuz kil numunesinin kimyasal yapısı.

Bileşik	Oran (%)
SiO ₂	50,97
Al ₂ O ₃	11,58
Fe ₂ O ₃	6,77
CaO	8,40
MgO	3,90
SO ₃	0,13
Na ₂ O	1,83
K ₂ O	2,31
Kızdırma Kaybı	13,63

Deney Hammaddelerinin Hazırlanması

Rezervde bulunan diyatomit kayaçları murç yardımı ile iri parçalar halinde laboratuvar ortamına getirilmiştir. Laboratuvarda kayaçlar önce çekiç yardımıyla en büyük kenarı 15 mm ve daha küçük parçalar olacak şekilde ezilmiş ve Görsel 5'te verilen halkalı değirmen ile maksimum 5 dakika süreyle öğütülmüştür. Bu sürenin, öğütülen malzemenin 500 µm altında tane büyüklüğü elde etmeye yeterli olduğu çalışmalar sırasında anlaşılmıştır. Öğütülen malzeme kullanım öncesi elenmek üzere depolanmıştır (Görsel 6).



Görsel 5. Malzeme öğütmede kullanılan halkalı değirmen



Görsel 6. Öğütülmüş diyatomit

Granit tozu da aynı değirmende 3 dakika süreyle öğütülmüştür. Hâlihazırda belirli bir incelikte olan atık tozun da yeterince incilmesi bu şekilde temin edilmiştir.

Kil ise önce içerisindeki kil olmayan çakıllardan elenerek arıtılmış, sonradan yine halkalı değirmende 3 dakika süreyle öğütülmüştür (Görsel 7).



Görsel 7. Öğütülmüş Kolsuz kili

Numunelerin Hazırlanması

Öncelikle sadece diyatomit kullanılarak 40x40x160 mm boyutlarında altı adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin tipleri **A I-I** olarak kodlanmıştır. Diyatomite plastik kıvam elde edilinceye kadar tedricen artırılarak su ilave edilmiş ve her durumda aynı kıvamın elde edildiğinden emin olduğunda istenilen kıvamın elde edildiği su miktarı tespit edilmiştir. Bütün karışın oranlarında bu şekilde elde edilen su miktarı o karışıma ait su miktarı olarak kaydedilmiştir.

İkinci grup olarak, diyatomit ve kil karışımından numuneler üretilmiştir. Bu numunelerde diyatomit ağırlığına göre %10, 20 ve 30 oranlarında kil eklenmiş ve tipleri **B I, II ve III** olarak kodlanmıştır. Bu tip karışımlara da plastik kıvam elde edilinceye kadar tedricen artırılarak su ilave edilmiş ve her durumda aynı kıvamın elde edildiğinden emin olduğunda istenilen kıvamın elde edildiği su miktarı tespit edilmiştir.

Üçüncü grupta diyatomit ve granit karışımı numuneler hazırlanmıştır. Diyatomite, ağırlığının %20, 30, 40, 50, 60 ve 70'i oranlarında granit ilave edilmiştir. Karışıma giren su miktarı tespiti,

diğer gruplarda olduğu gibi yapılmıştır. Bu gruptaki numunelerin tipleri, **C IV, V, VI, VII, VIII ve IX** olarak kodlanmıştır.

Dördüncü grupta ise diyatomite, ağırlık olarak %20 ve 30 oranlarında kil ve %20, 30, 40, 50, 60, 70 ve 100 oranlarında da granit birlikte eklenmiştir. Bu grup numunelerin tipleri ise **D X XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX ve XX** olarak kodlanmıştır.

Numune isimlerindeki D diyatomiti, K kili ve G ise G ise graniti ifade etmektedir. D, K ve G harflerinin altında bulunan ve rakam olarak verilen simgeler ise ilgili mineralin yüzde olarak miktarını temsil etmektedir. Sözgelisi DX tipini temsil eden D₁K₂₀ G₂₀ numunesinde diyatomite 1 birim olarak alınırsa kil ilavesi %20 ve granit ilavesi ise yine %20'dir.

Çalışma kapsamında 800, 1000 ve 1100 °C sıcaklıklar da denenmiştir. Bu sıcaklıkların örnekler üzerindeki etkisine göre, bu sıcaklıklarda örnek üretmeye devam edip etmemeye karar vermek amacıyla A, B, C ve D gruplarından birer karışım tipinden de örnekler hazırlanmış ve altışar adet te bu amaçla örnek üretilmiştir. Bunlar da **A grubu I-I 800, I-I 1000, I-I 1100, B grubu II 800, II 1000, II 1100, C grubu VII 800, VII 1000, VII 1100 ve D grubu XV₈₀₀, XV₁₀₀₀ ve XV₁₁₀₀** olarak kodlanmıştır. Bununla 900 °C sıcaklıkta pişirilen Al-I tipi numunelerden yine aynı karışım oranlarında numune hazırlandığı ancak, 800, 100 ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirildiği kastedilmektedir. Yine aynı amaçla B II, C VII ve D XV grupları aynı şekilde 800, 1000 ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirilmek üzere ayrıca hazırlanmış ve bu sıcaklıklarda pişirilmişlerdir. Böylece toplamda 198 adet numune üretilmiştir. Her bir gruba ait karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Hava kuru su durumunda karışıma giren diyatomit, kil ve granit tozu, bünyelerine farklı derecede nem aldıklarından su ilavelerinin aynı kıvamı vermesi için etüv kuru su durumuna getirilmişlerdir. Karışım oranlarında ağırlık temel alınmıştır.

Karıştırma

Karışımları plastik kıvama getirmek için herhangi bir çırpıcı kullanılmayıp yoğurma el ile ve metal ıspatula yardımıyla yapılmıştır. Numunelerin karışımlarında homojenlik sağlanması için her bir deney seti için yoğurma hamuru tek seferde hazırlanmıştır. Kalıplar üçer gözlü olduklarından her bir deney setinde üçer adet örnek üretilebilmektedir. Numunelerin üretilmesinde ise etüv kuru su durumuna getirilen karışım bileşenleri önce homojen hale gelene kadar kuru olarak karıştırılmıştır. Daha sonra el ile yoğurmaya devam edilirken azar azar su ilave edilmiştir. Bu tür numune kıvamlarının belirlenmesinde kullanılabilecek bir kıvam ölçer bulunmadığından, karışım hamurlarının kıvamına gözle muayene sonucu karar verilmiştir.

Şekillendirme

İstenen kıvama getirilen hamurlar için şekillendirme aşamasına geçilmiştir. Şekillendirme için iç boyutları 40x40x160 mm olan çelik kalıplar kullanılmıştır. Bir seferde hazırlanan numune hamuru eşit parçalara bölünerek her bir parça el yordamı ile plastik tokmak yardımıyla en az iki aşamada kalıba sıkı bir şekilde yerleştirilmiştir. Kalıp yüzey üst hizasına kadar doldurulduktan sonra bir miktar daha hamur konulmuş ve numunelerin yeterince sıkılaşabilmesi 100 Barlık basınç uygulama kapasitesi olan pres ile preslenmiştir. Daha sonra fazla malzeme kalıptan uzaklaştırılmış ve numune yüzeyi ıslak ıspatula ile tesviye edilmiştir (Görsel 8, Görsel 9).



Görsel 8. Şekillendirmede kullanılan kalıp



Görsel 9. 100 Bar sıkıştırma kapasiteli pres

Kurutma

Kalıplanan numuneler, deforme olmadan kalıptan çıkarılmalarını sağlamak için laboratuvar ortamında oda sıcaklığında 36 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler, 50 °C iç sıcaklığa ayarlanmış etüve konulmuş 24 saat süreyle bünye suyunun azalması sağlanmıştır. Numuneler, 24 saat sonra pişirme sırasında oluşacak ani su kaybı kaynaklı çatlama önüne geçmek amacıyla bu kez **105±5 °C** sıcaklıkta 48 saat süreyle etüv kurusu durumuna gelene kadar kurutulmuştur (Görsel 10).



Görsel 10. Kurutma işleminde kullanılan etüv

Tablo 4

Grup karışım oranları.

Grup	Tip	Numune	Diyatomit (gr)	Kil (gr)	Granit (gr)	Su (gr/cc)
A	I-I	D ₁	400	0	0	600
	I	D ₁ K ₁₀	325	32,5	0	400
B	II	D ₁ K ₂₀	325	65	0	400
	III	D ₁ K ₃₀	325	97,5	0	400
C	IV	D ₁ G ₂₀	250	0	50	300
	V	D ₁ G ₃₀	200	0	60	300
	VI	D ₁ G ₄₀	200	0	80	250
	VII	D ₁ G ₅₀	150	0	75	210
	VIII	D ₁ G ₆₀	150	0	90	210
	IX	D ₁ G ₇₀	150	0	105	210
	X	D ₁ K ₂₀ G ₂₀	250	50	50	370
	XI	D ₁ K ₂₀ G ₃₀	275	55	82,5	380
	XII	D ₁ K ₂₀ G ₄₀	275	55	110	390
	XIII	D ₁ K ₂₀ G ₅₀	275	55	137	400
D	XIV	D ₁ K ₃₀ G ₂₀	300	90	60	390
	XV	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	300	90	100	370
	XVI	D ₁ K ₃₀ G ₄₀	300	90	120	390
	XVII	D ₁ K ₃₀ G ₅₀	300	90	150	400
	XVIII	D ₁ K ₃₀ G ₆₀	300	90	180	400
	XIX	D ₁ K ₃₀ G ₇₀	250	75	175	400
	XX	D ₁ K ₃₀ G ₁₀₀	200	30	200	350
	A	I-I ₈₀₀	D ₁	400	0	0
I-I ₁₀₀₀		D ₁	400	0	0	600
I-I ₁₁₀₀		D ₁	400	0	0	600
B	II ₈₀₀	D ₁ K ₂₀	325	65	0	400
	II ₁₀₀₀	D ₁ K ₂₀	325	65	0	400
	II ₁₁₀₀	D ₁ K ₂₀	325	65	0	400
C	VII ₁₀₀₀	D ₁ G ₅₀	150	0	75	210
	VII ₁₀₀₀	D ₁ G ₅₀	150	0	75	210
	VII ₁₀₀₀	D ₁ G ₅₀	150	0	75	210
D	XV ₈₀₀	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	300	90	100	370
	XV ₁₀₀₀	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	300	90	100	370
	XV ₁₁₀₀	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	300	90	100	370

Piştirme

Çalışmada 800, 1000 ve 1100 °C sıcaklıklar da denenmiştir. Ancak bu sıcaklıklarda pişirilen numuneler ile 900 °C sıcaklıkta pişirilenler arasında pişirilenler arasında, sonuç tablosunda da görüleceği üzere kayda değer bir mukavemet artışı gerçekleşmemiştir. Bundan dolayı piştirme sıcaklığı 900 °C olarak seçilmiş ve A I-I'den D XX'ye kadar olan numuneler bu sıcaklıkta pişirilmişlerdir. 800, 1000 ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirilen numuneler için tiplerinin altına alt simge olarak ilgili sıcaklığı ifade etmek üzere bu rakamlar eklenmiştir.

Piştirme işlemi, 1200 °C sıcaklığa kadar piştirme kapasitesi olan fırında yapılmıştır (Görsel 11). Fırın dakikada 10 °C artacak şekilde ayarlanmıştır. İstenilen ısı derecesine ulaştıktan sonra, bu ısıda her bir piştirme takımı bir saat bekletilmiştir. Daha sonra fırının güç bağlantısı kesilerek iç sıcaklığı 50 °C sıcaklığa düşene kadar beklenmiştir. Sıcaklığın 50 °C düzeyine indirilmesindeki amaç, sıcak numunelerin soğuk hava ile temaslarında, farklı gerilmelerden dolayı çatlamaların ve fiziksel deformasyonların önlenmesi amacına matuftur. Pişen numuneler fırından alındıktan sonra laboratuvar ortamına alınmış ve birim hacim ağırlığı hesaplarında kullanılmak üzere her

birinin ağırlık ve boy ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin boyutlarında pişirme sonrasında, ilk boyutlarına oranla belirli miktarlarda kısalma tespit edilmiştir. Bu durumun hamur kıvamının plastik tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha gelişmiş ekipmanla yapılacak yoğurma ve kalıplama işlemlerinde daha az suya ihtiyaç duyulacak ve pişirme kaynaklı boyut kısaltmaları kabul ve kontrol edilebilir düzeylerde tutulabilecektir (Görsel 12).



Görsel 11. Pişirme işleminde kullanılan fırın.



Görsel 12. Pişirilmiş farklı gruplara ait örnekler

Fiziksel ve Mekanik Deneyler

Birim Hacim Ağırlığı

Pişirilen numunelerin birim hacim ağırlıkları TS EN 772-13'e göre elde edilmiştir. Bunun için önce birimlerin pişirme sonrası kuru birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin brüt hacimleri TS EN 772-16'a göre elde edilmiştir. Bu şekilde bulunan kuru birim ağırlıkları, numunelerin brüt hacimlerine bölünerek bulunmuştur. Birim hacim ağırlıkları numunelerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı testleri için, örnekler önce TS EN 772-1'de verilen yöntemler doğrultusunda, istenen yükleme hızı limitlerinde yükleme yapılarak Şekil 13'te görülen pres yardımı ile teste tabi tutulmuş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun basınç dayanımı değerleri bulunmuştur.

Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı testleri için, örnekler önce TS EN 772-6'de verilen yöntemler doğrultusunda, istenen yükleme hızı limitlerinde yükleme yapılarak Görsel 13'te görülen pres yardımı ile teste tabi tutulmuş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun eğilme dayanımı değerleri bulunmuştur.



GörSEL 13. Basınç ve eğilme dayanımı testlerinde kullanılan pres

Bulgular ve Tartışma

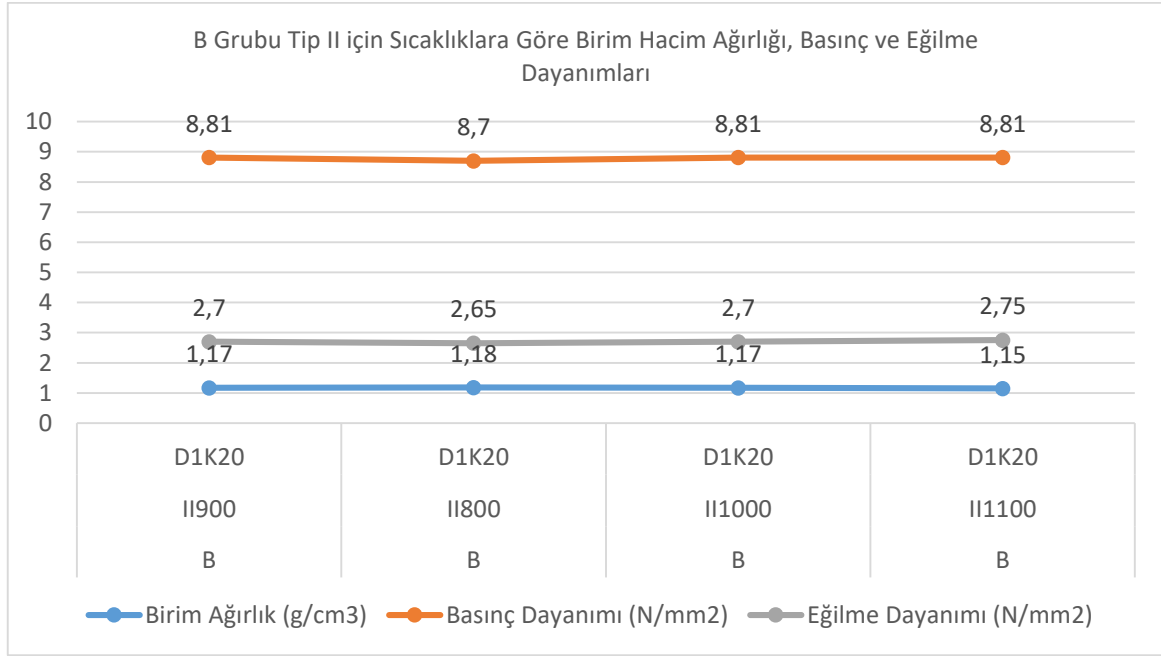
Her bir karışım grubu ve pişirme sıcaklığına göre elde edilen birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımına ait veriler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Karışım grupları ve pişirme sıcaklığına göre elde edilen değerler.

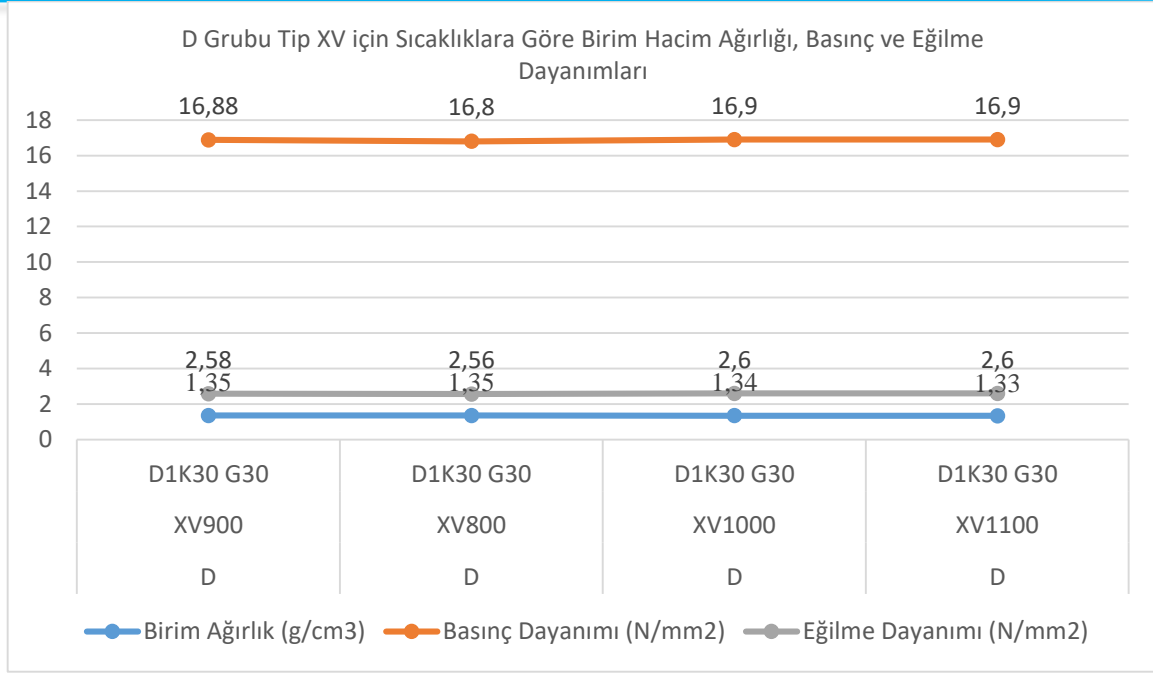
Grup	Tip	Numune	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
A	I-İ900	D ₁	0,62	1,83	0,87
	İ900	D ₁ K ₁₀	1,10	7,47	2,10
B	II900	D ₁ K ₂₀	1,17	8,81	2,70
	III900	D ₁ K ₃₀	1,25	9,47	3,10
	IV900	D ₁ G ₂₀	1,2	6,05	2,30
C	V900	D ₁ G ₃₀	1,23	6,51	2,51
	VI900	D ₁ G ₄₀	1,27	7,14	2,70
	VII900	D ₁ G ₅₀	1,31	8,06	3,10
	VIII900	D ₁ G ₆₀	1,35	8,63	3,40
	IX900	D ₁ G ₇₀	1,38	9,12	3,50
	X900	D ₁ K ₂₀ G ₂₀	1,25	10,71	1,62
	XI900	D ₁ K ₂₀ G ₃₀	1,3	14,54	2,15
D	XII900	D ₁ K ₂₀ G ₄₀	1,35	15,30	2,33
	XIII900	D ₁ K ₂₀ G ₅₀	1,38	13,40	2,50
	XIV900	D ₁ K ₃₀ G ₂₀	1,30	16,30	2,54
	XV900	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	1,35	16,88	2,58
	XVI900	D ₁ K ₃₀ G ₄₀	1,35	18,10	2,75
	XVII900	D ₁ K ₃₀ G ₅₀	1,38	18,90	3,10
	XVIII900	D ₁ K ₃₀ G ₆₀	1,43	23,30	3,11
	XIX900	D ₁ K ₃₀ G ₇₀	1,45	26,25	3,14
A	XX900	D ₁ K ₃₀ G ₁₀₀	1,49	30,25	3,20
	I-İ 800	D ₁	0,65	1,80	0,83
	I-İ1000	D ₁	0,63	1,83	0,88
B	I-İ1100	D ₁	0,62	1,85	0,89
	II800	D ₁ K ₂₀	1,18	8,70	2,65
	II1000	D ₁ K ₂₀	1,17	8,81	2,7
C	II1100	D ₁ K ₂₀	1,15	8,81	2,75
	VII 800	D ₁ G ₅₀	1,31	8,04	3,10
	VII 1000	D ₁ G ₅₀	1,30	8,10	3,10
D	VII 1100	D ₁ G ₅₀	1,29	8,11	3,12
	XV800	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	1,35	16,80	2,56
	XV1000	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	1,34	16,90	2,60
	XV1100	D ₁ K ₃₀ G ₃₀	1,33	16,90	2,60

Tabloda verilen A, B, C ve D grupları 900 °C sıcaklıkta pişirilen numunelere ait fiziksel değerlerdir. E, F, G ve H grupları da seçilen ve sırasıyla 800, 1000 ve 1100 °C sıcaklıkta pişirilen numunelere aittir. Tablo 5 ve sırasıyla B Grubu Tip II ile D Grubu Tip XV için verilen Grafik 1 ve Grafik 2 incelendiğinde görülecektir ki 900 °C sıcaklıkta ve diğer sıcaklıklarda pişirilen diğer numuneler arasında çok yüksek farklar yoktur. Bu durum, diğer gruplar ve tipler içinde benzer şekildedir. Bu nedenle kalan numunelerin 900 °C sıcaklıkta pişirilmesine devam edilmiştir. Ayrıca 800 ve 900 °C sıcaklıkta pişirilen numunelerin boyutlarında %5 civarında bir kılalma görülürken 1000 ve 1100 °C sıcaklıklarda pişirilen numunelerde %10 ve %12,5 arasında değişen kılalmalar ve hafif deformasyonlar oluşmuştur. Bu durum da 900 °C pişirme sıcaklığına karar verilmesine önemli bir etken olmuştur.



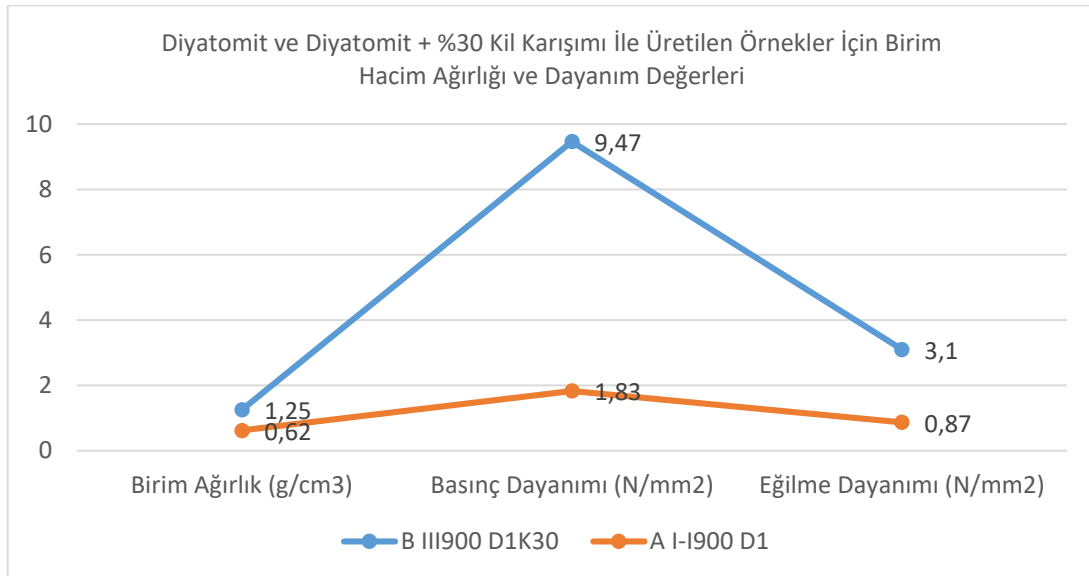
Grafik 1. B Grubu Tip II için Sıcaklıklara Göre Birim Hacim Ağırlığı, Basınç ve Eğilme Dayanımları

Sadece diyatomitten üretilen I-I tip numaralı numunelerin ortalama basınç ve eğilme dayanımları sırasıyla 1,83 ve 0,87 N/mm² çıkmıştır. Bu, diyatomitin yüksek gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır ve oldukça düşük değerlerdir. Zaten proje de bu değerlerin yükseltilmesine yönelik olarak önerilmiştir. Birim hacim ağırlığı ise 0,62 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Bu çok iyi bir değerdir. Bu numuneler, eğilme dayanımı gerektirmeyecek yapı bölümlerinde ısı ve ses yalıtım amaçlı kullanılabilir.



Grafik 2. D Grubu Tip XV için Sıcaklıklara Göre Birim Hacim Ağırlığı, Basınç ve Eğilme Dayanımları

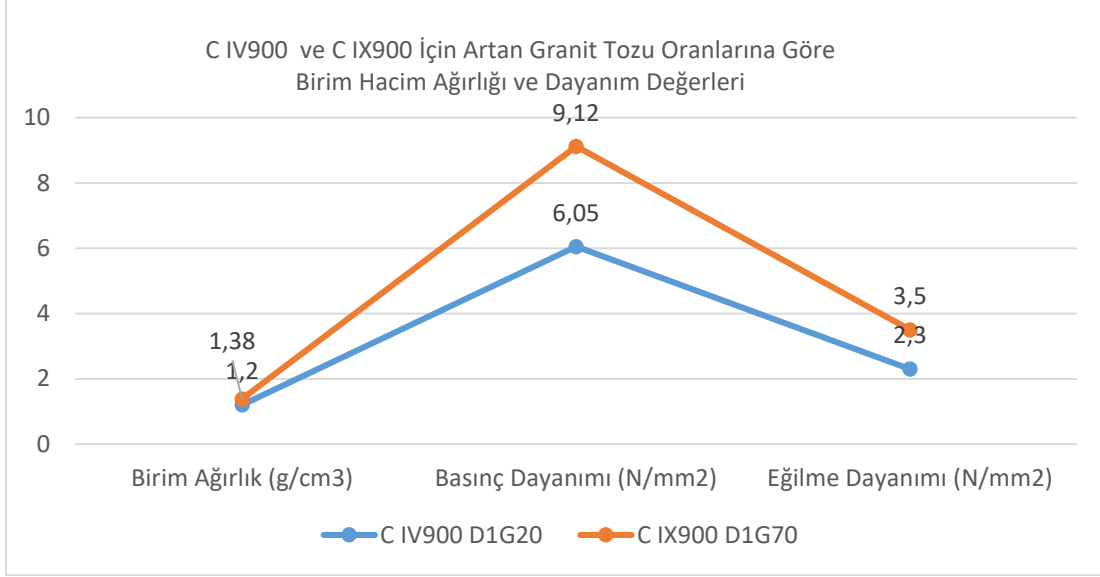
B grubunda ise diyatomit ve kil karışımı örneklerine ait veriler incelendiğinde artan kil oranı ile birlikte birim hacim ağırlık ve hem basınç, hem de eğilme dayanımlarında ciddi artışlar görülmüştür. Sözgelisi, %30 kil oranının kullanıldığı III tip numaralı örnekte birim hacim ağırlığı $1,25 \text{ gr/cm}^3$ 'e yükselirken basınç dayanımı $9,47 \text{ N/mm}^2$, eğilme dayanımı ise $3,1 \text{ N/mm}^2$ 'e yükselmiştir (Grafik 3). Bu beklenen bir değer artışıdır.



Grafik 3. Diyatomit ve Diyatomit + %30 Kil Karışımı İle Üretilen Örnekler İçin Birim Hacim Ağırlığı ve Dayanım Değerleri

C grubunda ise sadece diyatomit ve granit tozu karışımlarına ait değerler bulunmaktadır. Buna göre %20 granit tozu ile üretilen IV tip numaralı örneklerin birim hacim ağırlığı $1,2 \text{ gr/cm}^3$ gelirken %70 granit tozu ilave edilen IX tip numaralı karışımın birim hacim ağırlığı $1,38 \text{ gr/cm}^3$

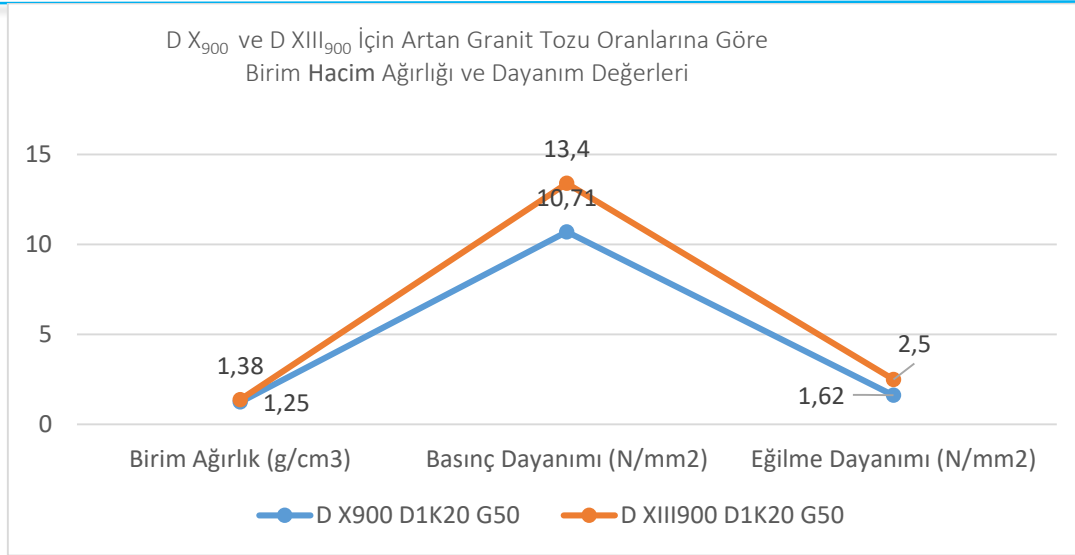
olarak gerçekleşmiştir. Ancak, birim hacim ağırlığındaki bu artış %15 olarak kalırken, basınç dayanımındaki artış $6,05 \text{ N/mm}^2$ 'den $9,12 \text{ N/mm}^2$ 'ye yükselerek %50 düzeyinde gerçekleşmiştir. Eğilme dayanımı da $2,30 \text{ N/mm}^2$ 'den $3,50 \text{ N/mm}^2$ 'ye yükselerek %52 oranına ulaşmıştır. Basınç ve eğilme dayanımlarında elde edilen bu yüksek artış, birim hacim ağırlığında kaydedilen artışa göre yüksektir ve birim hacim ağırlığındaki artışı tolere edecek düzeydedir (Grafik 4).



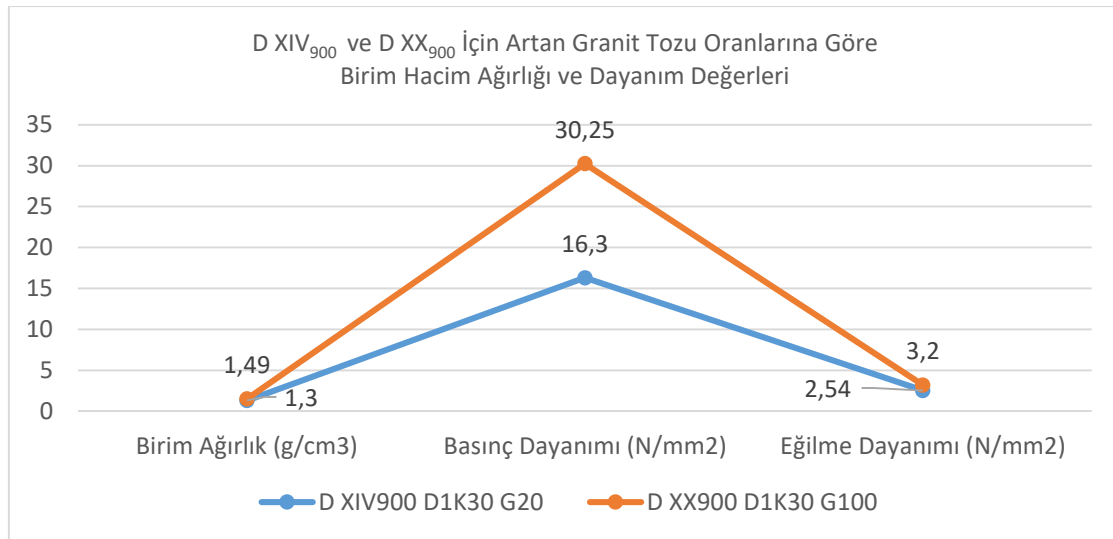
Grafik 4. C IV₉₀₀ ve C IX₉₀₀ İçin Artan Granit Tozu Oranlarına Göre Birim Hacim Ağırlığı ve Dayanım Değerleri

D grubunda kil oranları %20 ve %30 olarak, granit tozu ise %20 ile %70 arasında seçilmiştir. Her iki seçimde de artan granit tozu oranı ile birlikte birim hacim ağırlığı, basınç ve eğilme dayanımları artmıştır. Örnek vermek gerekirse, kil ve granit tozu oranlarının her ikisinin de %20 olduğu X tip numaralı örnek için birim hacim ağırlığı $1,25 \text{ gr/cm}^3$, basınç dayanımı $10,71 \text{ N/mm}^2$, eğilme dayanımı ise $1,62 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilirken, kilin %20 ve granitin %50 olarak seçildiği XIII numaralı örnekte ise aynı değerler sırasıyla $1,38 \text{ gr/cm}^3$, $13,40 \text{ N/mm}^2$ ve $2,50 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir (Grafik 5).

Yine, kilin %30, granit tozunun %20 olarak seçildiği XIV tip numaralı örnekte birim hacim ağırlığı $1,30 \text{ gr/cm}^3$, basınç dayanımı $16,30 \text{ N/mm}^2$, eğilme dayanımı ise $2,54 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilirken, kilin %30 ve granit tozunun %100 olarak seçildiği XX numaralı örnekte ise aynı değerler sırasıyla $1,49 \text{ gr/cm}^3$, $30,25 \text{ N/mm}^2$ ve $3,20 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu örnekte de birim hacim ağırlığındaki artışa göre basınç ve eğilme dayanımı oldukça yüksektir (Grafik 6).



Grafik 5. D X₉₀₀ ve D XIII₉₀₀ İçin Artan Granit Tozu Oranlarına Göre Birim Hacim Ağırlığı ve Dayanım Değerleri



Grafik 6. D XIV₉₀₀ ve D XX₉₀₀ İçin Artan Granit Tozu Oranlarına Göre Birim Hacim Ağırlığı ve Dayanım Değerleri

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada gözeneklilik oranı (porozite) ve dolayısı ile ısı ve ses yalıtım özellikleri de oldukça yüksek düzeyde olan, ülkemizin genelinde zengin rezervleri bulunan bir endüstriyel hammadde olan diyatomitten tuğla üretimi ve bu tür bir tuğlanın temel fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımının kil ve granit tesisi atığı granit tozu ilavesiyle iyileştirilmesinin imkânları araştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler göstermiştir ki hem kil hem de granit tozunun ayrı ayrı eklenmesi ile basınç ve eğilme dayanımlarında büyük oranda artışlar gerçekleşmiştir. Kil oranının sabit tutulduğu ve granit tozu oranlarının artırıldığı karışımlarda ise artan granit tozu oranının basınç ve eğilme dayanımlarını da artırdığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmanın sonucunda aşağıdaki öneriler sunulabilir:

1. Diyatomit tuğlası Rusya ve Çin’de üretilmektedir. Ülkemizde de zengin rezervleri vardır ve üretim yöntemi çok kolaydır ancak yapı endüstrisine henüz girmemiştir. Bu çalışma ile ülkemiz diyatomitinin de tuğla olarak yapı endüstrisinde kullanılabilirliği teyit edilmiştir. Diyatomitin boşluklu bir malzeme olması hem hafiflik hem de ısı iletim direnci yönünden yüksek nitelikli bir ürün elde edilmesine imkân tanıyacaktır. Hafiflik, yapıların deprem güvenliği ile ilgilidir. Hafif yapı elemanları kullanılan yapılar deprem enerjisini söndürmede daha başarılı davranmaktadırlar. Isı iletim direncinin yüksek olması kısaca iklimlendirme diyebileceğimiz ısıtma ve soğutma maliyetlerinin düşmesi anlamına gelmektedir. Bu da, enerji tedarikinde hâlâ dışa bağımlı bulunan ülkemiz için önemli avantajdır.

2. Tek başına granit tozu ilavesi dahi sadece diyatomitten üretilen örnekler göre basınç ve eğilme dayanımını önemli düzeyde artırmıştır. Bu çalışma ile granit tozunun diyatomit tuğlasına ilave edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Böylece her yıl atık olarak ortaya çıkan binlerce ton granit tozunun katma değer üretecek potansiyel bir endüstriyel hammadde hüviyeti olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, granit tesisi atığı olan tozun açık araziye dökülmesi yerine endüstriyel üretimde kullanılmasının önü açılmıştır. Granit tozunun endüstriyel üretimde kullanılması, atıkların üzerinin örtülmemesi, döküm sahasının zemin ve yeraltı su araştırmasının yapılmaması şeklinde ortaya çıkan olası zararlı çevresel etkilerin engellenerek insan ve toprak sağlığının korunması anlamına gelmektedir. Bu şekilde elde edilecek çevresel kazanımlar sosyal bir sorumluluk örneği olacaktır.

3. Çalışmada kil de kullanılmış olsa da, kilin çimento üretiminde kullanımından kaynaklanan tüketim miktarı ve sadece granit tozu ilavesi ile üretilen örneklerin verdiği sonuçlar düşünüldüğünde ileriki çalışmalarda kil kullanımından feragat edilebileceği öngörülmektedir.

4. Üretilen örneklerin boyutlarında %5 civarında kısalma gözlenmiştir. Bu durumun çalışmada kullanılan karışımların el ile yapılmasından ve su oranının görece yüksek tutulmasından kaynaklandığı öngörülmektedir. Daha gelişmiş ekipmanlarla, daha az su katkısı ile yapılacak üretimlerde bu oranın tolere edilebilecek düşük düzeylerde kalabileceğinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akbulut, H. & Gürer, C. (2006). Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *İmo Teknik Dergi*, 3943-3960.
- Aruntaş, H. Y. (1996). *Diyatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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.
- Bideci, A., Sallı, B. Ö., Sever, Ü. (2009, Mayıs). *Farklı hammaddelerin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması*. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu’nda sunulmuş bildiri, Karabük.
- Brady, G. S., Clauser, H. R. & Vaccari, J.A. (2002). *Materials Handbook*. McGraw-Hill Professional: New York.
- Ciullo, Peter, A. (1996). *Industrial minerals and their uses: a handbook of formulary*. Noyes Publications: New Jersey.
- Çelik, Ö. (2004). *Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Atık Çamur Katkılarının Çimento Dayanımlarına Etkileri*. Beton Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı.
- Gökçe, M. V. & Koç, İ. (2010). *Diyatomit esaslı hafif yapı elemanı üretiminde üre-formaldehitin bağlayıcı olarak kullanılması*. Doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Gökçe, M. V. & Koç, İ. (2012). Use of diatomite in the production of lightweight building elements with cement as binder. *Scientific Research and Essays*, 7(7), 774-781.
- Gül, R. & Aydın, A. C. (2007). Influence of volcanic originated natural materials as additives on the setting time and some mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 21, 1277-1281.
- 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.
- Kaya, G. & Turan, S. (2004). Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 45 (536), 48-60.
- 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: Littleton, Colorado.
- 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.
- Pimraksa, K. & Chindapasirt, P. (2009). Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. *Science Direct Ceramics International*, 35, 471-478.
- Sezgin, M. (1998). *Diyatomitin Hafif Yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği*. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- 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.
- 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.

İlgili Standartlar

TS EN 772-13, Kâgir Birimler - Deneysel Metotları - Bölüm 13: Kâgir Birimlerde (Doğal Taş Hariç) Net ve Brüt Yoğunluk Tayini, Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara, Nisan 2002.

TS EN 772-16, Kâgir Birimler - Deneysel Metotları- Bölüm 16: Boyutların Tayini, Türk Standartları Enstitüsü Kurumu, Ankara, Nisan 2002.

TS EN 772-6, Kâgir ve kâgir mamuller-Bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmeye direncinin tayini

Görsel kaynaklar

Görsel 1. Nevşehir Ürgüp diyatomit rezerv alanı konumu: (Google Earth), Erişim tarihi: 19. 06. 2020.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan ekipmanlara sağladığı maddi destekten dolayı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne ve granit tozu ve kolsuz kili temininde yardımcı olan Granitaş Kırşehir ve Çimsa Niğde Tesisleri yönetim kadrolarına ve çalışanlarına teşekkür ve minnetlerimi sunarım.