

Perlit Agregalarının Farklı Sıcaklıklarda Genleştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz

Nükhet ŞAPCI*¹, Hakan CEYLAN¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 10.02.2021, Kabul / Accepted: 12.03.2021)

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler

Ham perlit,
Genleşme,
Genleştirilmiş perlit,
Birim hacim ağırlık

Özet: Perlit doğal olarak oluşan silis kökenli asidik özellikte volkanik bir kayac türüdür. Perlitin en önemli özelliği belirli sıcaklıklarda ısıtıldığında genişerek gözenekli hafif bir yapı oluşturmasıdır. Oluşan bu gözenekli ve hafif yapı perlite endüstriyel bir değer katmaktadır. Özellikle genişmiş perlit yüksek ısı ve ses yalıtım özelliği olan hafif harç üretimlerinde kullanılan en hafif malzemelerden biri olup aynı zamanda yüksek ısı ve yangına karşıda en dayanıklı malzemelerden birisidir. Son yıllarda ülkemizde çok sayıda genişmiş perlit üreten tesisler açılmıştır. Ancak bu perlitlerin genişmesindeki etken parametrelerin neler olduğu konusunda yeterli bir bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır. Genellikle çalışmalar genişmiş perlitlerin ana hammadde olarak kullanılması ile edilen ürünlerin teknik performans özelliklerini tespit etmek amaçlıdır. Bu nedenle ham perlitte genişleştirilmiş perlit üretimi ve genişmeye etken parametrelerin tespit edilmesi amacıyla bir dizi ARGE çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada bünye suyunu kaybetme derecesi olarak bilinen 450 °C'den başlayarak, 1050 °C'ye kadar 7 farklı sıcaklıkta genişleştirme deneyleri yapılmıştır. Ham perlitin genişmesini etkileyen önemli parametreler arasında, agrega tane boyutu, genişleme sıcaklığı ve genişleme süresi gelmektedir. Bu parametreler bağlamında hedef olan 250-400 kg/m³ arası birim hacim ağırlık değerlerinde genişmiş perlit malzemesi elde etmek ve en uygun üretimi yapabilmek için gerekli koşullar incelenen parametrelere göre detaylı olarak açıklanmıştır.

A Technical Analysis on the Expansion of Perlite Aggregates under Different Temperatures

Keywords

Raw perlite,
Expansion,
Expanded perlite,
Unit volume weight

Abstract: Perlite is a natural acidic type of silica-based volcanic rock. The most important feature of perlite is becoming a lightweight porous structure by expanding when heated at certain temperatures. This porous and lightweight structure adds an industrial value to perlite. Especially expanded perlite is one of the lightest materials used in the production of light mortar with high heat and sound insulation features, and at the same time it is one of the most durable materials against high heat and fire. In recent years, many facilities producing expanded perlite have been established in our country. However, there has not been enough study about what the effective parameters in the expansion of these perlites are. Generally, studies are aimed to determine the technical performance characteristics of the products produced by using expanded perlite as the main raw material. For this reason, a series of ARGE studies have been conducted in order to produce expanded perlite from raw perlite and determine the parameters that affect the expansion. In this study, expansion experiments were carried out at 7 different temperatures starting from 450 degrees, known as the degree of loss of body water, up to 1050 degrees. Among the important parameters affecting the expansion of raw perlite are aggregate particle size, expansion temperature and expansion time. In the context of these parameters, the required conditions for obtaining expanded perlite material with unit volume weight values between 250-400 kg/m³ and making the most appropriate production are explained in detail according to the parameters examined.

1. Giriş

Isısal konfor ve yalıtım günümüzün en önemli teknik konularından birisi konumuna gelmiş olup, özellikle inşaat endüstrisinde kullanılan yapı elemanı ve yapı malzemelerinde aranılan temel faktör olmuştur. Bununla birlikte, deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, binaların depreme karşı direnci bakımından önem arz eden ve binaların ölü ağırlıklarının hafifletilmesi için vazgeçilmez olan hafif malzemelerden yapılmış yapı elemanlarının kullanılması gerekmektedir. Günümüzde bu hafif malzemeler kullanılarak sağlanabilmekte olup, doğal gözenekli ve hafif agregalardan elde edilmiş hafif sıva harçları, hafif beton ve hafif yapı elemanlarının kullanımı giderek önemli bir sektör haline gelmektedir. Bu malzemeler arasında pomza, genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit, diyatomit gibi malzemeleri görmek mümkündür.

Bunlardan perlit dünyada yıllık yaklaşık 5,8-6 milyon ton civarında üretilmekte olup ham perlit ve genleştirilmiş perlit olarak piyasaya sunulmaktadır [1].

Ülkemizde ise yıllık üretimi 900 bin ton civarında olup yaklaşık yarısı ihraç edilmektedir. 2008 yılında yapılan bir araştırmaya göre Türkiye'deki perlit tüketiminin %60'ı inşaat (sıva, hafif yapı elemanları vb.), %20'si sanayi, %17'si tarım ve %3'ü diğer sektörlere aittir [1].

Türkiye'de volkanik aktiviteler sonucu oluşan perlitler 3 bölgede yoğunlaşmıştır. Bunlar; Batı Anadolu Bölgesi, Orta Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi perlit oluşumlarıdır. Batı Anadolu perlitleri, özellikle konum olarak Türkiye'nin en iyi değerlendirilebilirlik koşullarına sahip, halen işletilmekte olan ve ülkemiz ham perlit üretiminin önemli bir kısmının bu bölgeden sağlandığı oluşumlar olarak bilinmektedir.

Perlit yüksek sıcaklıkta genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde camsı tanelerden oluşan, köpük agregasına dönüşen, ilk hacminin 20 katına kadar genleşebilen, oldukça hafif ısı ve ses yalıtımı sağlayan volkanik bir kayadır [2].

Perlitlerin genleştirilmesi işlemi bu tür kayaların oluşumları anında, bünyesine giren veya bünyesinde var olan suyun çıkışı, kayacın silikat hamurunun ısınması ile viskoz hale gelmesi anında hızlandırarak çok ince gözenekli, silikat süngeri haline dönüşmesi ile gerçekleşmektedir [3].

Yapılan bir çalışmada, Batı Anadolu perlitlerinin efektif su oranları çok düşük olup endüstriyel alanda optimal genleştirme koşullarında bu perlitlerin genleştirilebilmesi için gerekli maksimum sıcaklığın 950 °C olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Batı Anadolu perlitlerinde saptanan toplam %5 oranındaki suyun,

boşluk suyu dışındaki %3,0-3,5 kadar kısmı gevşek bağlı su molekülleri olup 450 °C'de kolaylıkla serbest kaldığı, kalan %1,0-1,5'lük su, sıkı bağlı su olup 700°C-950°C'de serbest kaldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla perlitlerin genleşmesinde etkili olan bu suyun efektif su olduğu tespit edilmiştir [3].

Öğütülmüş boyuta göre sınıflandırılmış ham perlit, türüne göre 700-1260 °C arasında sıcaklığı olan bir ortama verildiğinde içindeki kimyasal olarak bağlı suyun (%2-%6) buhar halinde çıkmasıyla çok kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-25 kat artar. Bu şekilde genleştirilmiş perlit 400°C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla perlitteki suyun %80-%90'ı buharlaşır. Kalan %1,0-1,5'lik kısım genleştirme işlerinde eylemi olan aktif suyu meydana getirir [4].

Türkiye perlit rezervleri açısından dünyada sayılı ülkeler arasında olmasına rağmen endüstride perlit uygulamaları konusunda ARGE çalışmaları yetersiz kalmıştır. Özellikle yalıtım sektörünün birçok uygulamasında genleşmiş perlitler temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Son 15 yılda perlitli alçı sıva, perlitli alçıpan panel üretimleri gibi bazı alanlarda büyük ölçüde genleşmiş perlit tüketimleri artmıştır. Bu bağlamda, ülkemizde tüketim merkezlerine yakın çok sayıda perlit genleştirme tesisleri kurulmuştur. Ancak bu tesislerde üretilen genleşmiş perlitlerin, üretim parametreleri ve genleşmeye etkileri konusunda yeterli sayıda bilimsel makaleye rastlanılmamıştır. Bu hususta çok eski yıllarda yapılan bazı bilimsel çalışmalarda sadece Batı Anadolu perlitlerinin genleştirilme sistemi olduğu konusunda çok az sayıda çalışmalara rastlanılmıştır. Ancak Orta Anadolu perlitlerinin genleştirilme teknikleri üzerinde çok fazla bilimsel bilgiye rastlanılmamıştır. Sadece ticari anlamdaki genleştirme tesislerinin paylaştığı bilgiler görülmektedir.

Bu çalışmada Nevşehir bölgesi Acıgöl ve civarından temin edilen perlit agregaları üzerinde detaylı genleştirme deneyleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda hedef 250-400 kg/m³ birim hacim ağırlık değerlerinde genleştirilmiş perlit malzemesini elde etmek amacıyla, gerekli koşullar, genleşme sıcaklığı, genleşme süresi (ısıtma süresi) ve tane boyutu değerlerine göre detay olarak irdelenmiştir. Böylece inovatif uygulamalar için özellikle de hafif beton, hafif blok üretimleri için teknik değerleri karşılamak üzere, hedef alınan birim hacim ağırlıklarda nitelikli genleştirilmiş perlit üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan optimizasyon çalışmalarının özellikle perlit üretimi sektörüne ve aynı zamanda bilim dünyasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Nevşehir-Acıgöl Perlitlerinin Özellikleri

Nevşehir ve civarında yer alan bölgedeki volkanitler Acıgöl-Göllüdağ volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Bu volkanizma Üst Miyosen'de başlamış ve Kuvaterner'den tarihsel zamanlara kadar etkili olmuştur. Volkanizmanın Üst Miyosen'de andezitik lav akıntıları ve domlarla başladığını; Alt Pliyosen'de çeşitli tüfler, andezitik lavlar, ignimbritler oluştuğunu; Alt Kuvaterner'de (Pleyistosen) tüfler, riyolitik domlar ve lav akıntılarının yer aldığı; Üst Kuvaterner'de ise önce andezitler ve en son ürün olarak da bazaltların oluştuğunu saptamıştır [5, 6, 7].

Orta Anadolu'daki Acıgöl (Nevşehir) civarındaki volkanizma, Kuvaterner sonlarına doğru yeniden asidik bir nitelik kazanarak domsal yapılar gelişmiş ve volkanik küller, obsidyen akıntıları, perlitler ve riyolitik lavlar ile bazaltik cürüfler oluşarak volkanik evrim tamamlanmıştır [8].

Acıgöl kalderası içindeki volkanik domlarda yer alan perlitik kayalarda yapılan incelemelerde toplam 450 milyon tonluk büyük bir perlit rezervi saptanmıştır [9].

Nevşehir-Acıgöl civarından temin edilen perlitlerin makro örnekleri incelendiğinde genellikle gri ve koyu gri renklerde olup, ince taneli ve inci parlaklığındadırlar. Mikroskop altında ince kesitleri incelendiğinde perlitik dokuda olup camı hamur, plajiyoklaz, az miktarda kuvars ve plajiyoklaz kristalleri gözlenmiştir. Çok az olarak da biyotit kristali bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında ham perlitlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilerek sonuçlar tablo 1 ve tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Ham perlit agregalarının fiziksel özellikleri

Özellik	
Renk	Gri-koyu gri
Sertlik (Mohs)	5-6
Ağırlıkça su emme(%)	1,40
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,39
Ergime Noktası (°C)	1240-1350

Perlitte Na₂O ve K₂O toplam miktarının %6-9 arasında olması oldukça önemlidir. Çünkü lavın viskozitesiyle bu değerler orantılıdır. Viskozite ise tozlaşmayı önleyen, maddeyi bir bütün halinde tutan ve uflanmadan genişlemeyi sağlayan etkidir. Al₂O₃ oranı ise viskoziteyi etkiler, Na₂O+ K₂O toplam oranı ile doğru orantılıdır. Perlitteki cam hamurunun kesin bir erime noktasının olmamasının ve geniş bir ergime aralığına sahip olması Al₂O₃ miktarından kaynaklanır [10].

Tablo 2. Ham perlit agregalarının kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	(%)
SiO ₂	75,04
Al ₂ O ₃	12,87
Fe ₂ O ₃	0,78
CaO	0,46
MgO	0,15
SO ₃	0,01
Na ₂ O	1,60
K ₂ O	4,68
Kızdırma kaybı	3,30

Tablo 2 incelendiğinde Ham Perlit kayacının SiO₂ miktarının %75 civarında olması asidik ve silikat kökenli bir kayaç olduğunu göstermektedir. Na₂O+ K₂O toplam oranı %6,28 olup, bu değer %6 ile %9 arasında yer alması, genişlemenin gerçekleşmesinde önemli bir parametrenin sağlandığını da bize göstermiştir.

3. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında Orta Anadolu Bölgesi Nevşehir-Acıgöl civarından temin edilen ham perlitlerden elde edilen agregaların genişletme deneyleri yapılmıştır.

Bölgeden temin edilen perlit kayaçları boyut küçültmek için önce laboratuvarında çeneli kırıcılardan geçirilerek, içerisindeki nemi atması amacıyla 110+/-5°C'deki etüvde kondüsyonlanmıştır. Daha sonra kuru duruma gelen perlitler merdaneli kırıcılardan geçirilerek, farklı agrega boyutlarına ayrılması amacıyla eleme işlemlerine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada genişletirmede etken olan farklı üretim parametrelerinin, üretime ne ölçüde etki ettiğini belirlemek için; 7 farklı sıcaklık, 5 farklı agrega tane boyutu ve fırında 5 farklı kalma süresi (genleştirme süresi) kullanılarak genişletme deneyleri yapılmıştır. Genleştirme işlemi laboratuvar ortamında yer alan sabit fırında yapılmıştır. Nüve marka fırın ani sıcaklık şoklarına dayanıklı, 7 litre iç hacme sahiptir. Çalışmada geliştirilmiş perlit agregası her bir boyut için tek tek krozelere konularak fırına verilmiştir. Bu nedenle deneysel çalışma süresi çok uzun sürmüş ancak genişleme koşullarını detaylı bir şekilde incelemek açısından verimli olmuştur.

Deneysel çalışmada, genişletme deneyi öncesi ve sonrası agregaların birim hacim ağırlıkları ASTM C 29 [11] ve TS EN 1097-6 [12] standardına göre belirlenmiştir. Daha sonra perlit agregalarının birim hacim ağırlık değerlerine göre, genişleme oranları hesaplanarak elde edilen bulgular grafiksel olarak yorumlanmıştır.

4. Bulgular

4.1. Genleştirme Deneyleri

Bu çalışmada genleştirme deneylerine geçmeden önce genleşme mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için bazı bilimsel araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar neticesinde görülmüştür ki; ham perlitlerin bünyesinde ki efektif su ve perlitlerin yumuşama noktasının tespiti önemli bir etkidir. Özgenç, İ., 1993'e göre perlitlerin 450 °C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmasıyla perlitler içerisinde bulunan %2-5 oranındaki suyun, %3-3,5'lük kısmı serbest kalıp, kalan %1,0-1,5'lük kısmın genleşmede etkili olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla perlitlerin genleştirilmesinde bu miktar efektif su olarak tespit edilmiştir.

Perlitlerin kimyasal analizleri ile kızdırma kaybı değeri, perlitlerin özellikleri hakkında oldukça önemli fikirler verir [13]. Bu bağlamda, yaptığımız çalışmada kullanılan ham perlitlerin kimyasal bileşen analizi bize önemli bir fikir vermektedir. Kimyasal analiz sonucunda ham perlitlerin kızdırma kaybı %3,30 olarak belirlenmiştir. Geriye kalan yaklaşık %1,7'lik kısmı perlitlerimizin genleştirilmesinde etken olan efektif su (aktif su) miktarı olarak düşünülmektedir. Genleştirme mekanizmasının açıklanmasındaki ikinci bir faktör yumuşama noktasıdır. Sıcaklık yükseldikçe bünyedeki su kaybı yüzünden katılma olana kadar agrega taneciği genişlemektedir. Bu yüzden perlit taneciğinin genişleme derecesi yumuşama noktasının üzerindeki sıcaklıklarda daha da artmaktadır. Ham perlitlerin yumuşama noktası gerek bilimsel çalışmalara göre gerekse ticari üretim yapan perlit genleştirme tesislerinin paylaştığı bilgilere göre 840°C dir. Bu çalışmada ise perlitlerin yumuşama noktası elde edilen teknik bulgular değerlendirildiğinde 750 °C -850 °C arasında olduğu tespit edilmiştir. Çünkü genleştirme deneyleri sırasında bu sıcaklık değerlerinden sonra sıcaklık arttıkça tane boyutu ve ısıtma süresi bazında genleşme oranlarının yaklaşık 1,5 - 6 kat arasında daha fazla artış gösterdiği görülmüştür. Bu ön değerlendirme çalışmalarından sonra ham perlit agregaları genleştirme deneylerine tabi tutulmuştur. Genleştirilmiş perlit agregası üretiminde etkin parametrelerin neler olduğunun bilinmesi ve bu parametrelerin genleşmeye etki derecesinin tespiti çok önemlidir. Genleştirme deneylerinde incelenen parametreler şunlardır:

Agregaların tane boyutları (5 farklı boyut; 8-16 mm, 4-8 mm, 2-4 mm, 1-2 mm ve 0-1 mm)

Fırın sıcaklığı (7 farklı sıcaklık; 100 °C artırmalı, 450 °C-1050 °C)

Fırında kalma süresi (ısıtma süresi) (5 farklı zaman; 1 dakika, 2 dakika, 3 dakika, 4 dakika ve 5 dakika)
DeneySEL çalışmalar sonucunda her bir parametrenin etkisi grafiksel analizlerle açıklanmaya çalışılmıştır. Böylece üretime etken parametreler ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.

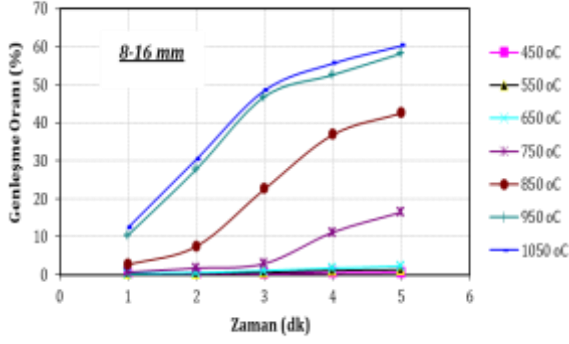
4.1.1 Genleştirme sıcaklığı ve genleştirme süresinin etkisi

Perlitlerin genleşme mekanizmasında etkili olan ham perlit bünyesindeki efektif su ve perlitlerin yumuşama noktası laboratuvar ön çalışmaları sırasında tespit edilmiştir. Daha sonra bu bölümde farklı boyutlardaki perlit agregalarında genleşmenin hangi sıcaklıkta etkili olduğu ve hangi sıcaklıkta en iyi genleştiğini tespit edebilmek için farklı sıcaklıklarda deneyler yapılmıştır. Ayrıca genleştirme işlemindeki önemli diğer bir konu ise ham perlitlerin fırında ne kadar kalacağıdır. Bu nedenle farklı sıcaklık ve fırında farklı kalma sürelerinde (ısıtma, genleştirme süresi) genleştirme deneyleri yapılmıştır. Böylece perlitlerin genleştirilmesinde etken olan optimum sıcaklık ve süre bakımından değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada, ham perlit agregaları kırıcıdan geçirildikten sonra 5 farklı granülometride boyutlandırılmıştır. Boyutlandırılan ham perlit agregaları ayrı ayrı 450°C-1050°C arasında (100 °C artırmalı) ve fırında 5 farklı kalma süresi (1 dk., 2 dk., 3 dk., 4 dk., 5 dk.) uygulanarak genleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Genleştirme deneyi öncesi birim hacim ağırlıkları belirlenen agregaların, genleştirme sonrası da birim hacim ağırlıkları ASTM C 29 ve TS EN 1097-6 standardına göre belirlenmiştir. Böylece agregaların genleşme oranları tespit edilerek, elde edilen bulgular grafiksel olarak yorumlanmıştır (Şekil 1-Şekil 5). Çalışmada elde edilen teknik bulguları daha net bir şekilde yorumlayabilmek için 8-16 mm, 4-8 mm ve 2-4 mm boyut aralığındaki perlit agregaları grubu "iri agregalar", 0-1 mm, 1-2 mm boyut aralığındaki perlit agregaları grubu ise "ince agrega" olarak isimlendirilmiştir. Bu bağlamda, agrega boyut bazında en ideal genleşme sıcaklığı ve genleşme süresi de tespit edilmiştir.

Genleştirme deneylerine ilk olarak 8-16 mm boyut aralığındaki perlit agrega serisinden başlanmıştır. Agregası bünye kaybetme suyu olarak bilinen 450 °C'den itibaren 1050 °C'ye kadar fırında 5 farklı kalma süresinde (1dk., 2dk., 3dk., 4dk. ve 5 dk.) genleştirmeye tabi tutulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi sıcaklık ve fırında kalma süresi arttıkça genleşme oranı artmaktadır. 450°C - 750°C arasında tam anlamıyla bir genleşme gözlenmezken, 750 °C'nin 4. dakikasından sonra %11,17'lik bir genleşme oranı ile dikkate değer bir genleşmenin başladığı gözlenmiştir. 850 °C sıcaklıkta ise 2 dakikadan sonra hızlı bir trendle genleşmenin arttığı görülmektedir.

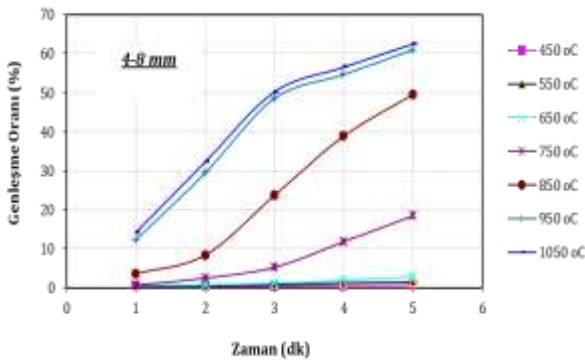
8-16 mm tane boyut aralığında en fazla genleşme 1050 °C'de %60,50 oranında gerçekleşmiştir. Ancak 950 °C sıcaklıkta da 1 dakikadan 5 dakikaya kadar olan fırında kalma sürelerinde 1050 °C'ye yakın oranlarda genleşme gerçekleşmektedir.



Şekil 1. 8-16 mm boyut aralığındaki perlit agregalarının fırında kalma süresine göre genişleme oranı değişimi.

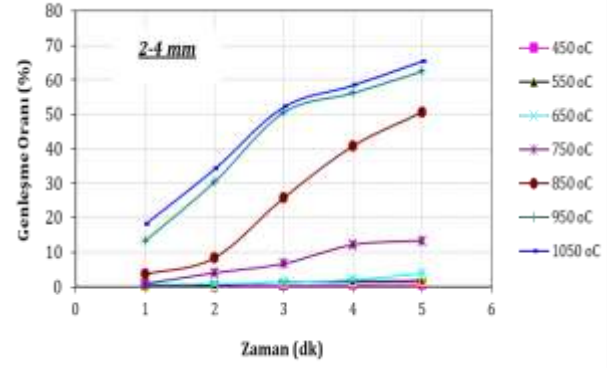
950 °C'de en fazla genişleme 5 dakikada %58,03 civarındadır. Örneğin 8-16 mm tane boyut aralığındaki perlit agregalarının %20'lik bir genişleme sağlayabilmesi için 850°C'de 3 dakika civarında fırında kalması gerekirken, 950 °C ve 1050 °C'de 1,5 dakikalık bir süre yeterlidir.

4-8 mm boyut aralığındaki perlit agregaları da diğer iri agrega boyutlarında olduğu gibi artan sıcaklıkta ve artan fırında kalma sürelerinde genleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu boyuttaki agregalarda 450°C-750°C'da dikkate değer bir genişleme gözlenmemiştir. 8-16 mm tane boyutlu agregalarda olduğu gibi bu boyut agregalarda da 750 °C'den itibaren genişlemenin başladığı söylenebilir. Bu sıcaklıkta dikkati çeken genişleme oranı değeri 4. dakikadan itibaren gerçekleşmektedir. 750 °C sıcaklıkta, fırında kalma süresinin 4. dakikasında genişleme oranı %11,78 olarak tespit edilmiş ve Şekil 2'de görüldüğü gibi sıcaklık ve süre arttıkça genişleme oranlarının arttığı görülmüştür.



Şekil 2. 4-8 mm boyut aralığındaki perlit agregalarının fırında kalma süresine göre genişleme oranı değişimi.

4-8 mm boyut aralığındaki perlit agregalarında ise en fazla genişleme 1050 °C'de 5 dakikalık fırında kalma süresinde %62 civarındadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi perlit agregalarının 950 °C sıcaklıktada 1050 °C'ye paralel bir şekilde genişleme performansı gösterdiği dolayısıyla fırında kalma süresi arttıkça genişlemenin arttığı görülmektedir.



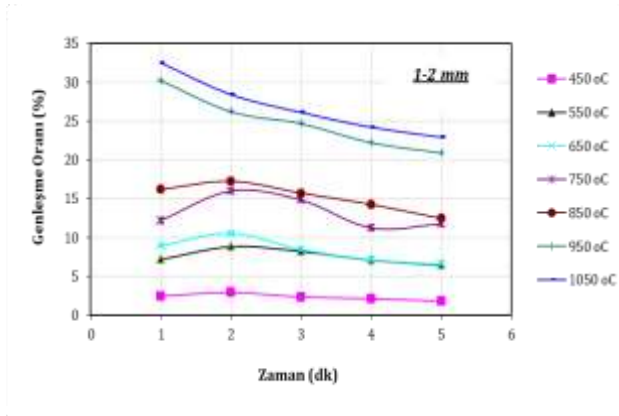
Şekil 3. 2-4 mm boyut aralığındaki perlit agregalarının fırında kalma süresine göre genişleme oranı değişimi.

Diğer bir serimiz ise 2-4 mm tane boyutlu perlit agregalarımızdır. Bu boyut serisinde perlit agregaları diğer boyutlarda olduğu gibi 450 °C-1050 °C arasında ve fırında 5 farklı kalma sürelerinde (1dk.-5dk.) genleştirme işlemine tabi tutulmuştur. 4-8 mm boyutundaki agregaların genişleme performansları ile benzer özellik göstermektedir. Bu seride de dikkate değer bir genişlemenin 750 °C sıcaklığın 4. dakikasında gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık ve sürede genişleme oranı %12,20 olarak tespit edilmiş ve Şekil 3'de görüldüğü gibi sıcaklık ve süre arttıkça genişleme oranlarının arttığı görülmüştür.

Sıcaklığın 850 °C'sinde ise diğer iri agrega boyutlarında olduğu gibi 2-4 mm tane boyutlarında da fırında kalma süresinin 1. dakikasından 5. dakikasına kadar genişleme oranlarının arttığı görülmüştür. 850 °C'de 5 dakikada genişleme oranı %50,65 olarak tespit edilmiştir. 950 °C'de en fazla genişleme 5 dakikada %62,50 civarındadır, diğer iri agrega boyut aralıklarında görüldüğü bu boyuttaki agregalarda da en fazla genişleme 1050 °C nin 5. dakikasında gerçekleşmiş ve genişleme oranı %65,40 olarak belirlenmiştir.

Diğer bir serimiz ise 1-2 mm tane boyutlu perlit agregalarımızdır. Bu boyut serisinde perlit agregalarında sıcaklık arttıkça genişleme oranları artmıştır. Ancak bu serinin diğer iri agrega gruplarından farkı 450 °C'de küçük ölçekli genişleme başlamıştır. Gözle görülür yaklaşık %10 civarında bir genişleme oranı ise 650 °C'de başlamıştır. Şekil 4'de görüldüğü gibi bu agrega serisinde 450°C'den 1050°C'ye kadar sıcaklık arttıkça genişleme oranları artmıştır. Ancak bu seride 450°C-850 °C arasındaki sıcaklıklarda dikkatimizi çeken bir olgu ise, genişlemenin 2. dakikaya kadar lineer bir trendle artış gösterdiği belirlenirken 2. dakikadan sonra ise 5. dakikaya kadar genişleme oranlarında azalma tespit edilmiştir. 950 °C'den sonra ise 1 dakikadan 5 dakikaya doğru, yani fırında kalma süresi arttıkça genişleme oranları azalmıştır. Diğer bir ifadeyle 950°C ve 1050 °C de ise en yüksek genişleme 1. dakikalarda

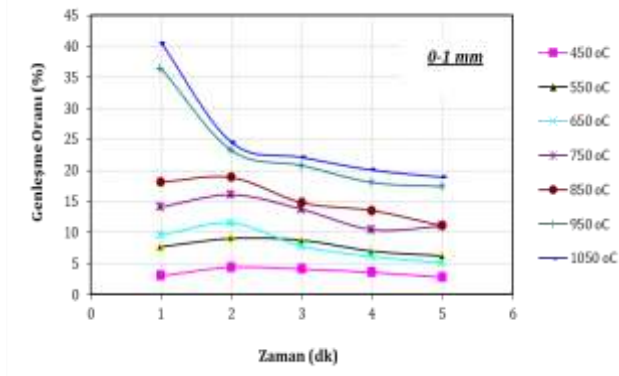
gerçekleşmiştir. 950 °C'de genleşme oranı 1. dakikada %30,20 iken 1050 °C'de ise % 32,50 civarındadır.



Şekil 4. 1-2 mm boyut aralığındaki perlit agregalarının fırında kalma süresine göre genleşme oranı değişimi.

1-2 mm boyut aralığında ki perlit agregalarında en fazla genleşme diğer agrega gruplarında (8-16 mm, 4-8 mm ve 2-4 mm) olduğu gibi 1050 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Diğer agrega gruplarında bu sıcaklıkta en fazla genleşme oranı yaklaşık %60 civarında 5 dakikada tespit edilmiştir. Bu seride ise (1-2 mm) en fazla genleşme oranı yaklaşık %35 civarında 1 dakikada gerçekleşmiştir. Ancak fırında kalma süresi 1 dakikadan daha az bir süre olur ise genleşme oranının daha fazla olacağı yorumunu yapmak mümkündür (Şekil 4).

1 mm'nin altındaki boyutlarda perlit agregalarında sıcaklık arttıkça genleşme oranları artmıştır (Şekil 5). Bu seride de 2-4 mm boyutlarındaki agregalarda olduğu gibi 450 °C'de genleşme başlamıştır.



Şekil 5. 1 mm boyut altındaki perlit agregalarının fırında kalma süresine göre genleşme oranı değişimi.

Şekil 5'de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça genleşme oranları artmış ancak fırında kalma süreleri değişmiştir. Bu seride de 1-2 mm boyut aralığındaki agregalarda görüldüğü gibi 450°C-850 °C arasındaki sıcaklıklarda genleşmenin 2. dakikasına kadar lineer bir trendle artış gösterdiği belirlenirken 2. dakikadan sonra ise 5. dakikaya kadar genleşme oranlarında azalma tespit edilmiştir. 950 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda genleşme oranları açısından birbirine

paralel bir genleşme gözlenirken en yüksek genleşme 1050 °C 'de 1. dakikada %40,50 oranında tespit edilmiştir. Genleşmenin 5. dakikasında ise aynı sıcaklıkta bu oran %18,90'a düşmüştür. Buradan şöyle bir sonuç çıkarmak mümkündür. 2 mm boyut altındaki perlit agregaların genleşebilmesi için uzun sürede fırında bekletilmesine gerek yoktur. 1 dakikalık bir zaman diliminde %40 civarı bir genleşme sağlanabilmektedir. Ayrıca iri agregalarda 650 °C'ye kadar kayda değer bir genleşme gözlenemezken, ince agregalarda ise bu sıcaklığa kadar %3,5-11,5 civarında bir genleşme oranı tespit edilebilmiştir.

Bu çalışmada, 5 farklı boyuttaki ham perlit agregalarına 7 farklı sıcaklıkta (450 °C-1050 °C) ve 5 farklı sürede (1dk.-5dk.) genleştirme işlemi uygulanmıştır. Genleştirme sıcaklığı ve süresinin etkisini tespit etmek amacıyla, iri ve ince agrega olarak sınıflandırdığımız (İri agregalar: 8-16 mm, 4-8 mm, 2-4 mm, İnce agrega: 1-2 mm ve 0-1 mm) her boyut agrega için elde edilen bütün teknik bulgular Şekil 1-Şekil 5 arasında grafiksel olarak yorumlanmıştır. Özetle bir değerlendirme yapmak gerekirse deneyi yapılan bütün boyut agregalar için genleşme sıcaklığı arttıkça genleşme oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Özellikle iri boyut agregalarda bütün sıcaklıklarda (özellikle 750 °C ve sonrası) genleşme süresi arttıkça genleşme oranı artmaktadır. Ancak ince boyut agregalarda 450 °C-850°C arasındaki tüm sıcaklıklarda 2 dakikaya kadar genleşme artmakta, 2 dakikadan sonra genleşme oranları yavaş yavaş düşmektedir. 950 °C ve 1050 °C'de genleşme oranının en yüksek olduğu zaman dilimi 1 dakikadır. 1 dakikadan sonra iri agregaların tersine genleşme oranları fırında kalma süresi arttıkça düşmektedir. Ham perlitlerin yumuşama noktasının 750 °C ve sonrası olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla iri agregaların yumuşama noktası üzerinde bir sıcaklıkta daha fazla genleştiği net olarak görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, iri agregalarda yumuşama noktası altındaki bir sıcaklıkta dikkate değer bir genleşme görülmemektedir. İnce agregalarda ise 450°C'de genleşme başlamaktadır. Dolayısıyla ince agregalarda yumuşama sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda genleşme başlamıştır. Ön ısıtma ısı olarak geçen bu sıcaklıkta bünyedeki suyun bir kısmının buharlaşması geriye kalan efektif suyun ise daha düşük sıcaklıkta ince boyut agregaları genleştirmede aktif rol aldığı söylenebilir. İnce boyuttaki agregalar ağırlıklarına göre yüzeyleri daha geniştir. Dolayısıyla ısının nüfuz etmesi gereken kalınlık daha azdır. Bu nedenle iri agregalara göre daha düşük fırında kalma sürelerinde genleşebilmektedir. Deneysel çalışmalar neticesinde en fazla genleşmenin iri agregalarda 1050 °C' de 5 dakikada %60-%65 civarında iken, ince agregalarda özellikle 1 mm boyut altındaki perlit agregalarında 1050 °C' de 1 dakikada %40,50 civarındadır. Dolayısıyla ince agregalar için fırında kalma süresi 1 dakikanın altına indirildiğinde daha fazla genleşme oranına sahip olabileceğini söyleyebiliriz.

Ayrıca yapı malzemelerinde özellikle yalıtım amaçlı uygulamalarda ana hammadde olarak genişmiş perlitlerin kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında özellikle yalıtım harçlarında kullanılacak nitelikli genişmiş perlit üretilmesi mümkündür. Bu bağlamda hedef değer olarak 250-400 kg/m³ birim hacim ağırlığında genişmiş perlitlerin üretilmesi tasarlanmıştır. Sözü edilen birim hacim ağırlıkta perlitlerin üretilmesinde en uygun üretim parametresi sıcaklık ve süre bazında özellikle iri boyut agregalarda 850°C sıcaklıklarda 4 dk. fırında kalma süresi ile gerçekleştirilebilmektedir. İnce agregalarda ise 1050°C de 2 dakika fırında kalma süresi ile hedef birim hacim ağırlık değerlerinde genişmiş perlit agregası elde edilebilmektedir. Daha düşük birim hacim ağırlıklarda genişmiş perlit agregası elde etmek istiyorsak iri veya ince boyut agregalarda sıcaklık 1000 °C'nin üzerinde olması gereklidir. Sadece iri agregalarda daha uzun süre fırında kalması gerekirken ince agregalarda fırında kalma süresi daha düşük olmalıdır.

Bütün serilerde en fazla genişleme 1050°C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Ancak üretim bazında üretim sıcaklığının artması ekonomik olarak istenmemektedir. Özellikle genişmiş perlit üreticileri 1000 °C'nin üzerinde ki sıcaklık değerlerini enerji maliyetlerini dolayısıyla üretim maliyetlerini artıracığından dolayı tercih etmemektedirler. Bu nedenle bu çalışma kapsamında en iyi genişleme 1050°C'de elde edilse de üretim açısından ekonomik olması da önem arz etmektedir. Bu bağlamda en ideal genişleme sıcaklığı 950°C olarak tespit edilmiştir.

Genleştirme öncesi ham perlit agregalar ve agregaların genleştirme deneyleri esnasındaki görünümü ile genleştirme sonrası perlit agregalarının görünümü sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Boyutlandırılmış ham perlit agregasının görünümü



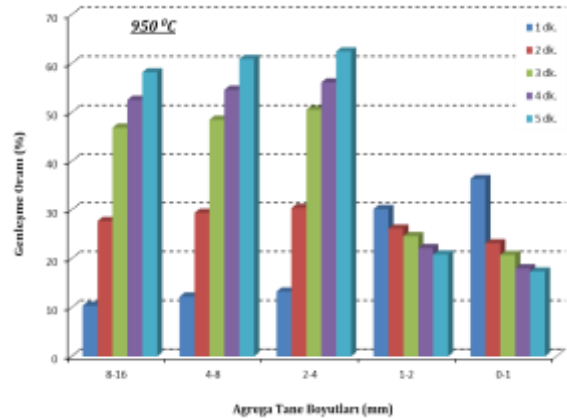
Şekil 7. Agregaların yüksek sıcaklıkta fırında genleşmesi sırasındaki görünümü



Şekil 8. Farklı tane boyutlarında genleştirilmiş perlit agregalarına ait bir görünüm

4.1.2 Agregatane Boyutunun Etkisi

Ham perlitlerin tane iriliği de genişlemeye etki etmektedir. Agregatane boyutu ile genişleme süresi arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek amacıyla bu bölümde 950 °C sıcaklıkta 5 farklı sürede genleştirilen perlitlerin tane boyutuna karşı genişleme oranları arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. 950°C'de genleştirilen bir perlitin tane boyutu ve genişleme oranı ilişkisi

İri taneli agregalarda sıcaklığın tamamen agregaya içine nüfuz edebilmesi için, nispeten uzun süre ısıtılması yani daha uzun süre fırında kalması gerekir. Şekil 6'da görüldüğü gibi iri agregaya gruplarında (8-16 mm, 4-8 mm, 2-4 mm) en fazla genleşme 5. dakikalarda gerçekleşmektedir. Fırında kalma süresi arttıkça genleşme oranı artmaktadır. İnce agregalarda (1-2 mm, 0-1 mm) ise 1. dakikalarda genleşme oranları daha fazladır.

Ayrıca ince agregalarda fırında kalma süresi arttıkça genleşme oranları kademeli bir şekilde düşmektedir. Bunun nedeni, genleştirme süresi uzadıkça ince agregalar içerisinde bulunan su yumuşama noktasına erişmeden kısmen uçuyor ve dolayısıyla genleşme oranı yavaş yavaş düşmeye başlıyor. Başka bir deyişle ince agregalarda 1 dakikadan daha kısa bir sürede genleşme oranı en fazla miktara ulaşıyor, ancak fırında kalma süresi arttıkça bu oran yavaş yavaş azalmaya başlıyor. Bu grafiksel analizden de anlaşılacağı üzere tane boyutuna bağlı olarak sayısal anlamda hangi oranda genleşme isteniyorsa o oranda fırında kalma süresini ayarlanabilir. Örneğin 950 °C'de %35-40 civarı bir genleşme için 8-16 mm, 4-8 mm, 2-4 mm agregalar için 3 dakikalık bir genleştirme süresi olması gerekirken, 2 mm altı agregaya boyutlarında 1 dakikalık bir süre yeterlidir. Ayrıca ince boyut agregalarının %50 civarlarında bir genleşme oranını yakalayabilmesi için 1 dakikadan daha kısa bir sürede hatta yaklaşık 20-40 saniye arası bir sürede genleşebileceği ön görülmüştür.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında Orta Anadolu Bölgesi Nevşehir-Acıgöl civarından temin edilen ham perlitlerden geliştirilmiş perlit agregası üretimi için genleşmeye etken parametreler incelenerek en uygun üretim koşulları tespit edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle ham perlitlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilerek genleşme mekanizması hakkında ön fikir edinilmiştir. Ham perlitler kırıcılardan geçirilerek farklı tane boyutlarında sınıflandırılmıştır. Daha sonra laboratuvar ölçekli olarak genleştirme deneylerine başlanmıştır. Genleştirme deneyleri 7 farklı sıcaklık, 5 farklı agregaya tane boyutu ve fırında 5 farklı kalma süresi olarak gerçekleştirilmiştir. Bütün bu parametrelerin genleştirmeye etkisi ayrı ayrı analiz edilerek bulgular bölümünde detaylı olarak irdelenmiştir. Bu çalışmada iri agregaya ve ince agregaya olarak değerlendirilen tüm serilerde sıcaklık arttıkça genleşme oranının arttığı tespit edilmiştir. İri agregalarda 750°C sıcaklıkta, ince agregalarda ise 650°C den itibaren gözle görülür bir genleşme gözlenmiştir. Örneğin %10'luk bir genleşme iri agregalarda 750°C'nin 4. dakikasında gerçekleşirken ince agregalarda 650°C sıcaklık ve 2 dakika fırında kalma süresi ile gerçekleşmektedir. Diğer bir ifade ile 750°C sıcaklığa kadar iri agregalar ince agregalara göre daha yavaş genleşmeye devam etse de, iri agregalarda 850°C sıcaklıktan itibaren

genleşme oranları hızlı bir şekilde yükselmeye başlamıştır.

Perlit agregalarının genleşmesini ısıtma süresi veya fırında kalma süresi açısından değerlendirecek olursak; iri agregalarda en iyi genleşme 5 dakikada gerçekleşirken, ince agregalarda ise yüksek sıcaklıkta en ideal genleşme 1 dakika sürede gerçekleşmektedir. Genleştirme deneylerinde bütün boyutlarda en fazla genleşme 1050°C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu çalışmada en fazla genleşme oranı %65 ile 2-4 mm tane boyutunda 1050°C sıcaklık ve 5 dakika fırında kalma süresiyle gerçekleşmiştir. Ancak 1000°C'nin üzeri sıcaklıklar ekonomik olmayacağı için bütün boyutlar için yakın genleşme oranı 950°C'de tespit edilmiştir. Dolayısıyla genleştirme deneyleri sonrası en optimum genleştirme sıcaklığı 950°C olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada diğer bir inceleme parametresi ise 250-400 kg/m³ birim hacim ağırlıklarında geliştirilmiş perlit agregası üretimi için gerekli sıcaklık ve sürenin tespitidir. Deneysel çalışmalarda hedef birim hacim ağırlıkta genleşmiş perlit agregaları üretimi, iri boyut agregalarda 850°C sıcaklıklarda 4 dk. fırında kalma süresi ile gerçekleşirken, ince agregalarda ise 1050°C de 2 dk'luk ısıtma süresinde gerçekleşmektedir. Daha düşük birim hacim ağırlıkta genleşmiş perlit agregası üretiminin ise 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşeceği görülmüştür.

Ayrıca genleştirme işlemleri sırasında önemli bir ayrıntı dikkatimizi çekmiştir. Farklı tane büyüklüklerinde agregalar aynı anda fırında genleştirme işlemine tabi tutulursa, olumsuz sonuçlar vermektedir. Çünkü agregaların farklı büyüklükte olmaları eşit muamele görmelerini zorlaştırır. Sıcaklığın iri ve ince tanelere etkisi farklı olacağından, genleşme oranları ve fırında kalma süreleri değişik olacaktır. İnce agregaların ağırlıklarına göre yüzey alanları daha geniş olduğu için ısının nüfuz etmesini gerektiren kalınlıkları azdır, dolayısıyla iri tanelere oranla yüksek sıcaklıkta daha kısa sürede genleşebilmektedir. Bu nedenle iri ve ince agregaları aynı anda fırında genleştirmemek gerekir. Hangi boyut aralığında geliştirilmiş perlit agregası üretmek istiyorsak sadece o tane boyutundaki agregaları fırına beslemek gerekir.

Bu çalışma laboratuvar ölçekli olarak gerçekleştirilmiştir. Elbette tesis bazında üretim parametrelerinde değişiklikler olabileceği gibi tespit edilen sıcaklık ve sürelerde bir miktar değişiklik söz konusu olabilir. Yine bu tip tesislerde genleştirme işleminin yapılacağı fırın tasarımları da çok önemlidir. Ancak bu çalışmada, genleşme mekanizmasının iyi etüd edilmesi açısından perlitlerin laboratuvarında ön incelemeleri yapılmış, genleştirmede etkili olacak bütün parametreler irdelenmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Böylece genleşmiş perlit üreticileri ve yeni açılacak tesis bazındaki üreticilere fikir vermesi,

genleştirme faktörlerinin dikkate alınması ve tesislerin ona göre dizayn edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bilimsel literatüre de katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Kaynakça

- [1] Türkiye Madenciler Derneği (TMD), Ağustos, 2015. Sektörden Haberler Bülteni, sayı, 57, İstanbul.
- [2] Breese, Richard O.Y. and Barker, James, M. 1994. Perlite Industrial Minerals and Rocks, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado.
- [3] Özgenç, İ. 1993. Perlitler içindeki suyun kimyasal yapısı ve bu yapının genleşme özelliğine etkisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s.42, 60-63, Ankara.
- [4] Toraman, Y.Ö. vd. 2018. Mikro-perlit üretiminde genleştirme fırını ve üretim prosesleri. Uluslararası katılımlı Kapadokya Yerbilimleri Sempozyumu Bildiriler kitabı, s.55-58, 24-26 Ekim, Niğde.
- [5] Batum, İ., 1975. Petrographische und geochemische Untersuchungen in den volkangebieten Göllüdağ und Acıgöl (Zentralanatolien-Türkei). Doktora Tezi, Albert-Ludwigs Üniv.,Freiburg, 102 s, Almanya.
- [6] Batum, İ., 1978a. Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl volkanitlerinin jeokimyası ve petrolojisi, 1978a, Yerbilimleri, 4/1-2,70-88.
- [7] Batum, İ., 1978b. Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisi. Yerbilimleri, 4/1-2,50-69.
- [8] Ercan, T., vd. 1991. Acıgöl (Nevşehir) yöresindeki senozoyik yaşlı volkanik kayaların petrolojisi. MTA Dergisi, 113, 31-44, Ankara.
- [9] Öngür, T., 1978. Nevşehir kalderası: TJK 32. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri özetleri Kitabı, 43
- [10] Kırimer, H., 1976. Perlit, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Bilimsel Madencilik Dergisi, cilt, 15, sayı 6, s37-44.
- [11] ASTM C 29/C29M-17a, 2017. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate, ASTM International, USA.
- [12] TS EN 1097-6. 2013. Agregaların Mekanik ve Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TS, Ankara.
- [13] Oktay, O. 1969. Perlit, Perlit, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Bilimsel Madencilik Dergisi, cilt 8, sayı, 4, s213-222.