



---

**Derleme / Review Paper**

---

## **Sepiyolit İkameli Çimentolu Karışımların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi**

**Rasim Cem SAKA<sup>1</sup>, Ahmet GÖKDEMİR<sup>2</sup>, Serkan SUBAŞI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620 Düzce/TÜRKİYE

[cemsaka@duzce.edu.tr](mailto:cemsaka@duzce.edu.tr)

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500 Ankara/TÜRKİYE

[ahmetgok@gazi.edu.tr](mailto:ahmetgok@gazi.edu.tr)

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620 Düzce/TÜRKİYE

[serkansubasi@duzce.edu.tr](mailto:serkansubasi@duzce.edu.tr)

**Received/Geliş:** 11.12.2017

**Revised/Düzeltilme:** 26.02.2018

**Accepted/Kabul:** 08.03.2018

**Öz:** Ülkemizde bulunan birçok doğal mineral veya endüstriyel atıkların puzolan olarak kullanılabilmesine yönelik çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. İçerisinde yüksek oranda reaktif silisyum oksit barındıran minerallerin puzolanik potansiyellerinin olduğu bilinmektedir. Sepiyolit, fillosilikatlar (tabakalı silikatlar) grubunda yer alan ve magnezyum hidrosilikattan oluşan kil minerali olup yüzey alanının yüksekliği, lifli bir yapıya sahip olması, kristal morfolojisi, yüzey aktivitesi, düşük derişimlerde viskozitesi yüksek ve durabiliteli süspansiyonlar oluşturması gibi teknolojik uygulamalarda sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerinden dolayı birçok kullanım alanına sahiptir. Bu çalışma kapsamında literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve çimentolu karışımlar içerisinde sepiyolit katılması sonucunda elde edilen karışımların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar belirli bir sistematik içerisinde incelenmiş ve sepiyolit çimentolu karışımlarda kullanımına yönelik yapılan araştırmalar özetlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sepiyolit, mekanik özellik, fiziksel özellik, çimento

## **Investigation of Mechanical and Physical Properties of Sepiolite Cementitious Mixtures**

**Abstract:** Various researches are being carried out in order to use many natural minerals or industrial wastes in our country as pozzolan. It is known that minerals involve high amount of reactive silicium oxide have potential of being pozzolanic. Sepiolite is a clay mineral composed of magnesium hydrosilicatum in the group of phyllosilicates (layered silicates) and is a clay mineral composed of magnesium hydrosilicite and it has many usage areas because of its high surface area, a fibrous structure, crystal morphology, surface activity, high viscosity in low concentration and high durability suspensions. In this study, the studies done in the literature have been investigated and the changes in the mechanical and physical properties of the substituted mixtures obtained by adding sepiolite into the cementitious mixtures have been investigated. In the literature, studies conducted in this area have been studied in a certain systematic way and summarized researches for the use of sepiolite in cementitious mixtures.

**Keywords:** Sepiolite, mechanical properties, physical properties, cement.

*Bu makaleye atıf yapmak için*

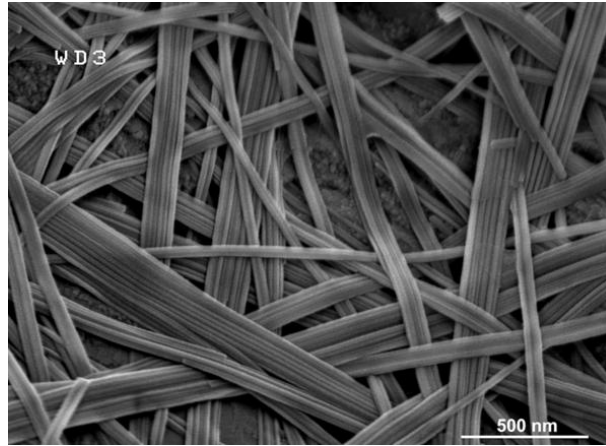
Saka, R.C., Gökdemir, A., Subaşı, S., "Sepiyolit İkameli Çimentolu Karışımların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 681-692.

*How to cite this article*

Saka, R.C., Gökdemir, A., Subaşı, S., "Investigation of Mechanical and Physical Properties of Sepiolite Cementitious Mixtures" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 681-692.

## 1. Giriş

Çimento, su ile bir araya geldiğinde gerçekleşen reaksiyonları nedeniyle priz alan ve katılaştıran bir hamur oluşturup suyun altında bile dayanımını muhafaza eden inorganik bir bağlayıcıdır [1]. Çimento üretiminin ilk aşaması, kireçtaşı ve kil türevi malzemelerin yaklaşık 1400°C sıcaklıkta ısıtma işlemine tabi tutarak klinkerin üretilmesidir. Elde edilen klinker bir miktar (yaklaşık %3-4) alçı ile öğütülerek Portland çimentosu halini almaktadır [2]. Beton, bir yapı malzemesi olarak günümüzde en çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır [3] ve beton üretiminin en önemli bileşeni de kuşkusuz çimentodur. Dünyada çimento endüstrisi, betonun inşaat sektöründe çok fazla talep edilmesinin sonucu olarak üretimi en yoğun gerçekleştirilen endüstrilerdendir. Bu denli yoğun üretim nedeniyle çimento, çevreye zarar veren endüstriyel üretimler arasında yer almaktadır. Geçtiğimiz yıllarda enerji verimliliği gereksinimi bu konuda araştırma yapanları çimento sektörü içerisinde sürdürülebilir çözümler üretmeye sevk etmiştir [4]. Çimento endüstrisi üretilecek malzemenin mekanik özelliklerinden ödün vermeden daha az enerji kullanarak daha dayanıklı ve sürdürülebilir üretim yapmakla yüz yüze kalmaktadır. Bu nedenle normal çimento üretimi yerine katkılı çimento üretimi en yaygın gelişmelerden bir tanesi haline gelmiştir [5]. Katkılı çimento üretiminde silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve puzolanik özellikte diğer doğal malzemeler gibi çimento katkı malzemeleri, teknik ve ekonomik avantajları nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır [6-7]. Sepiyolit kelimesi ilk kez 1847 yılında Glocker tarafından kullanılmıştır. Yunancada "mürekkep balığı" anlamına gelen kelimeden türetilmiştir. Sepiyolit adındaki ticari killer ülkemizde sepiyolitik kil ve lületaşı olarak iki grupta değerlendirilmektedir [8]. Fillosilikatlar (tabakalı silikatlar) grubunda bulunan magnezyum hidrosilikattan oluşan doğal bir kil minerali olan sepiyolit; lifsi yapısı (Şekil 1) yüksek yüzey alanı, porozitesi, kompozisyonu ve kristal morfolojisi, yüzey aktivitesi, düşük derişimlerde yüksek viskoziteli süspansiyonlar oluşturması gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden reolojik, sorptif ve katalitik özelliklere sahip olmasından dolayı bir çok kullanım alanına sahiptir [9].



Şekil 1. Sepiyolit lifli yapısını gösteren SEM görüntüsü [10]

Sepiyolit kimyasal formülü Nagy-Bradley'e göre  $(Si_{12})(Mg_9)O_{30}(OH_6)(OH_2)_4 \cdot 6H_2O$  şeklinde verilmiştir [11]. Sepiyolit ısıll işlemlere karşı hassastır. Zeolitik ve adsorbe su molekülleri, ısı derecesi arttıkça kaybolur. Ayrıca asitlerle etkileşime girip bu işlem sonucu kristal yapısı kısmen bozulabilir. Hem ısı hem de asit etkileri, sepiyolit yüzey özelliklerini ve porozitesini değiştirebilir. Böylece mineralin en önemli özelliklerinden (absorptif, kolloidal ve katalitik özellikler) bazılarını bu işlemlerle değiştirebilmek mümkündür. Çizelge 1'de, bazı tipik lületaşı, sedimanter sepiyolit ve atapulgit (paligorskit) cevherlerinin kimyasal bileşimleri gösterilmiştir [12].

Çizelge 1. Bazı tipik lületaşı, sedimanter sepiyolit ve atapulgüt (paligorskit) cevherlerinin kimyasal bileşimleri [12]

| Bileşim                        | Lületaşı | Lületaşı | Sedimanter sepiyolit<br>(Sanayi sepiyoliti) |       |       |       |       | Hidrotermal<br>Sepiyolit | Alüminyumlu<br>Sepiyolit | Laflinit |
|--------------------------------|----------|----------|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------------------------|----------|
| (%)                            | (1)      | (2)      | (3)                                         | (4)   | (5)   | (6)   | (7)   | (8)                      | (9)                      | (10)     |
| SiO <sub>2</sub>               | 52.90    | 54.02    | 53.70                                       | 55.97 | 60.60 | 52.05 | 52.50 | 57.00                    | 52.43                    | 50.80    |
| MgO                            | 25.89    | 23.13    | 23.31                                       | 22.81 | 22.45 | 23.74 | 21.31 | 10.10                    | 15.08                    | 16.18    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.27     | 0.19     | 1.15                                        | 1.56  | 1.73  | 1.03  | 0.60  | 8.50                     | 7.05                     | 0.66     |
| Na <sub>2</sub> O              | -        | 0.02     | 0.67                                        | 0.12  | 0.16  | -     | -     | 3.70                     | -                        | 8.16     |
| K <sub>2</sub> O               | -        | 0.02     | 0.61                                        | 0.27  | 0.58  | -     | -     | 1.20                     | -                        | -        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.36     | 0.51     | 0.64                                        | 0.77  | 0.62  | 0.04  | 2.99  | 2.50                     | 2.24                     | 1.05     |
| FeO                            | -        | -        | 0.02                                        | -     | -     | 0.01  | 0.70  | -                        | 2.40                     | 1.51     |
| MnO                            | -        | -        | -                                           | 0.02  | -     | -     | -     | 0.20                     | -                        | -        |
| TiO <sub>2</sub>               | -        | -        | -                                           | 0.12  | -     | -     | -     | 0.30                     | -                        | -        |
| CaO                            | 0.01     | 0.06     | 0.03                                        | 0.57  | 0.40  | 0.51  | 0.47  | 2.00                     | -                        | 0.12     |
| A.Z.                           | 20.55    | 21.63    | 19.59                                       | 17.75 | 13.22 | 21.71 | 21.27 | 13.35                    | 19.97                    | 22.60    |

(1) Eskişehir-Sepetçi; (2) Konya-Yuna; (3) Konya; (4) Eskişehir-Sivrihisar; (5) İspanya-Vallecas; (6) Japonya-Kuzuu District; (7) Madagaskar; (8) Bolu-Kıbrısık; (9) Avustralya- Tintinara; (10) USA Wyoming

## 2. Sepiyolit özellikleri

### 2.1. Absorpsiyon Özelliği

Sepiyolit ısıtma işlemine tabi tutulduğunda absorpsiyon özelliğinde azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise yapısal değişime bağlı olarak mikroporlar yıkılmasıdır. Ayrıca sepiyolit mineralinin genleşme özelliği bulunmamaktadır.

Yüksek absorpsiyon özelliğine sahip olması nedeniyle sepiyolit başlıca kullanım alanları:

- Çiftlik ve ahırlarda koku giderici olarak; evcil ve ahır hayvanlarının atıklarının emilmesi ve koku gidermesi için zeminlerde,
- Madeni esaslı yağlar, bitkisel yağlar ve parafinlerin rafinasyonunda,
- Karbonsuz kopya kağıtları ve sigara filtrelerinde,
- Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı olarak,
- Atık su arıtma sistemlerinde,
- Deterjan ve temizlik maddelerinde,
- Sindirim sistemi ile ilgili ilaçlarda toksin ve bakteri emici formülasyonlardır [13].

### 2.2. Katalitik Özelliği

Yüksek yüzey alanı, mekanik dayanım ve termal duraylılığından dolayı son zamanlarda sepiyolit granülleri, katalizör taşıyıcı olarak tercih edilmektedir. Sepiyolit, denitrojenasyon, hidrojenasyon, demetilasyon, desülfürizasyon, etanolden butadien ve metanolden hidrokarbon elde edilmesi gibi birçok katalitik süreçte W, Ni, Co, Fe, Mo, Cu, Al ve Mg'nin katalitik destekleyicisi olarak kullanılmaktadır. Sepiyolit tanecik yüzeyindeki Silanol (Si-OH) grupları belli derecede asit özellik göstermekte ve katalizör ya da reaksiyon merkezi olarak davranabilmektedir. Bu gruplar sepiyolit lif eksenini boyunca 5 Å ara ile sıralanmışlardır. Sepiyolit asitle etkileşimi sonucunda alanında artış meydana gelmekte, gözenek dağılımı ve kristallik derecesi etkilenmektedir.

Sepiyolit katalitik uygulamaları:

- Etanolden butadien üretimi,
- Olefinlerde doymun olmayan C=C bağlarının hidrojenasyonu,

- Metanolden hidrokarbon üretimi,
- Otomobil ekzosları ve fabrika bacaları için katalitik seramik filtre imali,
- Sıvı yakıtların hidrojenasyonu olarak sıralanabilir [13].

### 2.3. Reolojik Özellikleri

Sepiyolit, sıvılarla düşük derişimlerde yüksek viskoziteli (1000-40.000 cps/5 rpm, Brookfield viskozimetresi) ve durabiliteli süspansiyonlar oluşturmaktadır. Tikotropik özellik göstermesi nedeniyle sepiyolitten yapılan süspansiyonlar yapıştırıcı, kozmetik ve gübre karışımlarında kalınlaştırıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca sepiyolit diğer killere göre tuzlu ortamlarda durabilitesi daha yüksektir ve bu nedenle özellikle petrol sondajlarında çamur malzemesi olarak kullanılmaktadır. pH değeri 8'e kadar iyileştirici özelliklerini korumasına karşın, pH değeri 9 ve üzerindeki ortamlarda peptizasyon viskozitede ani bir düşüşe neden olmaktadır.

Reolojik özelliklere sahip olması nedeniyle kullanıldığı alanlar:

- Çözelti kalınlaştırıcı olarak asfalt kaplamaları, boya, gres yağı ve kozmetik ürünlerinde,
- Yüksek elektrolit derişimi ve sıcaklığa sahip derin sondaj kazılarında çamur malzemesi olarak,
- Tohum kaplama ve gübre süspansiyonlarında,
- Bağlayıcı özelliğinden dolayı eczacılıkta tablet olarak,
- Dolgu maddesi olarak kağıt, filtre, mukavva ve kauçuk sanayilerinde,
- Tuğla ve seramik ürünlerinde (özellikle honeycomb seramikler),
- Deterjan sanayisinde
- Besicilikte yemle karıştırıldığında verim artışı sağlamaktadır[13].

### 3. Dünyada ve Türkiye’de sepiyolit

Lületaşı tipi sepiyolit yatakları ülkemiz haricinde özellikle Tanzanya, Somali, Kenya ve Meksika’da bulunmaktadır. Somali Cumhuriyeti’nde yüksek kalitede, düşük yoğunluklu ve porozitesi yüksek lületaşı ile birlikte sedimanter (tabakalı) sepiyolit oluşumları da bulunmaktadır. Bu oluşumlar Mogadişu’nun 350 km kuzeybatısında, El-Bus civarında, Mudug’dadır. Bunların toplam rezervi 2 milyon tonu görünür olmak üzere, 50-100 milyon ton aralığında olduğu düşünülmektedir. Kenya lületaşı yatakları Kenya-Tanzanya sınırında bulunan Amboseli Gölü kenarında Sinya’dadır ve kuzeye doğru Kenya içine doğru uzamaktadır [12]. Dünya sedimanter sepiyolit üretiminin neredeyse tamamı İspanya tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu ülkeye ait sepiyolit rezervlerinin 15-20 milyon ton aralığında olduğu tahmin edilmektedir [14]. Dünyadaki en kaliteli lületaşı oluşumları Türkiye’de olmakla beraber Eskişehir ve Konya illerinde çıkarılmaktadır. Eskişehir’in batısında Nemli-Dutluca bölgeleri, doğusunda Margı, Sepetçi, Gökçeoğlu, Sarısu, Kayı ve Türkmentokat lületaşı açısından en önemli bölgelerdir ve bu yörelerde 2000 yıldan beri üretim faaliyetleri göstermektedir. Bunların dışında, özelliği itibarıyla hayvan yaygısı olarak kullanılabilen ve sepiyolit içeriği %50’nin altında olan oluşumlar belirlenmiştir [15]. %50’nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 13.546.450 ton civarındadır [16]. Hayvan yaygısı olarak kullanıma uygun sepiyolit rezervlerinin ise bir kaç milyon ton dolaylarında olduğu düşünülmektedir.

### 4. Sepiyolitin çimentolu karışımlarda kullanılması

Literatürde, çimento ve polimer içerikli kompozitlerde sepiyolitin üretilen numuneler üzerindeki mekanik ve fiziksel özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmak üzere birçok çalışma yapılmıştır [17-30]. T. Kavas ve ark. yaptıkları çalışmada Portland çimentosu klinkeri ve %5 oranında alçı taşı katılan karışıma sırasıyla %3, %5, % 10, % 15, % 20 ve % 30 oranlarında sepiyolit katılmış ve çimentonun özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Üretilen karışımlara genleşme deneyleri, blaine

testleri, elek analizleri, priz başlangıcı ve priz sonu, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik testler ile kimyasal testler yapılarak çimentoya ilave edilen sepiyolit hangi oranlarında bu özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir. 40 $\mu$ , 90 $\mu$  ve 200 $\mu$ 'luk elekte kalan elek üstü malzemelere priz başlangıcı ve priz sonu süreleri, basınç ve eğilme dayanımları, su alma yüzdeleri, özgül yüzey ve genleşme değerleri incelenmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonuçları mekanik sonuçları Çizelge 2'de, fiziksel deney sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Sepiyolit Katkılı Numunelere Yapılan Mekanik Test Sonuçları [17]

| No | Klinke<br>r<br>% | Sepiyoli<br>t<br>% | Jips<br>% | Priz Zamanı<br>(min.) |       | Basınç Dayanımı<br>(MPa) |           |            | Eğilme<br>Dayanımı<br>(MPa) |           |            |
|----|------------------|--------------------|-----------|-----------------------|-------|--------------------------|-----------|------------|-----------------------------|-----------|------------|
|    |                  |                    |           | Başlangıç             | Bitiş | 2.<br>Gün                | 7.<br>Gün | 28.<br>Gün | 2.<br>Gün                   | 7.<br>Gün | 28.<br>Gün |
| 1  | 95               | -                  | 5         | 156                   | 240   | 20                       | 32.5      | 41.7       | 4.7                         | 7         | 8.2        |
| 2  | 92               | 3                  | 5         | 132                   | 252   | 19.6                     | 33.2      | 42.8       | 4.6                         | 7         | 8.4        |
| 3  | 90               | 5                  | 5         | 162                   | 246   | 20.1                     | 33.3      | 43.4       | 4.8                         | 6.9       | 8.5        |
| 4  | 85               | 10                 | 5         | 108                   | 216   | 20.7                     | 34.5      | 44.9       | 5.3                         | 7.4       | 8.7        |
| 5  | 80               | 15                 | 5         | 204                   | 348   | 18.9                     | 32.6      | 42.7       | 4.6                         | 6.7       | 7.8        |
| 6  | 75               | 25                 | 5         | 204                   | 312   | 15.7                     | 29.2      | 40.2       | 3.9                         | 6.2       | 7.9        |
| 7  | 65               | 30                 | 5         | 306                   | 432   | 11.2                     | 23.2      | 31.5       | 2.8                         | 5.2       | 6.6        |

Sepiyolit katkısının % 10 ilavesi ile çimentonun basınç ve eğilme dayanımı özelliklerini klinker oranının azalmasına rağmen geliştirdiği görülmüştür. Bu iyileşmenin artan özgül yüzey alanından (blaine değerine) kaynaklı olduğunu düşünmek yanlış olur. Çünkü sepiyolit oranı arttıkça özgül yüzey alanı değerlerinde artış görülmesine rağmen basınç ve eğilme dayanımı değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Özgül yüzey alanındaki artış çimento bünyesine giren sepiyolit liflerinden kaynaklanmaktadır. Sepiyolit katkı oranının artmasına rağmen ana matrisi oluşturan klinkerin büyük oranda azalması çimentonun eğilme ve basınç dayanımlarındaki düşüşe neden olmuştur.

Çizelge 3. Sepiyolit ikameli numunelerin fiziksel deney sonuçları [17]

| No | Sepiyolit<br>% | % Elek Üstü |            |             | Blaine<br>(cm <sup>2</sup> /g) | H <sub>2</sub> O<br>(%) | Genleşme<br>(mm) |
|----|----------------|-------------|------------|-------------|--------------------------------|-------------------------|------------------|
|    |                | 40 $\mu$ m  | 90 $\mu$ m | 200 $\mu$ m |                                |                         |                  |
| 1  | -              | 20.1        | 1          | 0           | 3508                           | 26.4                    | 8                |
| 2  | 3              | 20.6        | 1.2        | 0           | 3879                           | 26.4                    | 7                |
| 3  | 5              | 20.4        | 1.1        | 0           | 4202                           | 26.6                    | 5                |
| 4  | 10             | 19.4        | 1.1        | 0           | 4612                           | 26.6                    | 7                |
| 5  | 15             | 20.5        | 1.5        | 0.1         | 4996                           | 227                     | 3                |
| 6  | 25             | 19.7        | 2          | 0.1         | 5554                           | 27.6                    | 4                |
| 7  | 30             | 19.3        | 3.6        | 0.2         | 5891                           | 27.6                    | 4                |

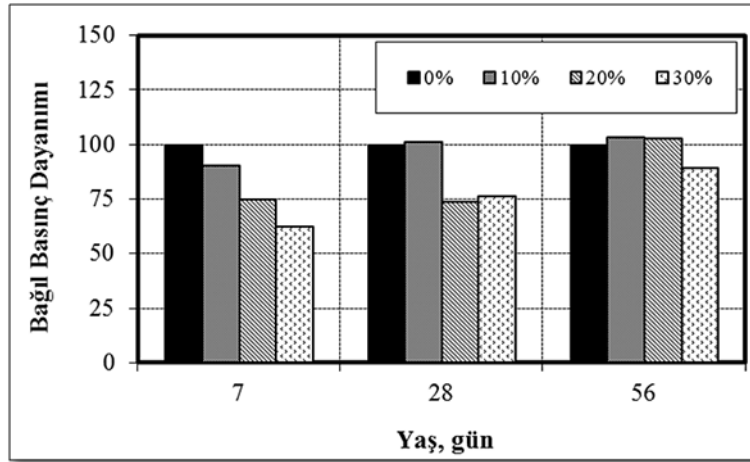
Çizelge 3 incelendiğinde genleşme değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Sepiyolit artışına rağmen su ihtiyacında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Sepiyolit içerisindeki iç zeolitik kanallar ve harici silanol (Si-OH) gruplarının hidrojen bağı önemli miktarda suyun tutulmasını sağlamıştır. Sepiyolit oranının artmasıyla yüzey alanı artışına bağlı olarak genleşmede azalma görülmüştür. Sonuç olarak, çimentoya % 10 oranında eklenen sepiyolit katkısının çimentonun basınç ve eğilme dayanımlarında lifsi bir yapıya sahip olmasından kaynaklı iyileşmeye sebep olduğu tespit edilmiştir [17]. T. Kavas ve ark. yaptıkları diğer bir çalışmada sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerinin yapısal özellikleri ve optimum karışım oranları araştırmıştır. Sepiyolit, çimento ağırlığının %3, 5, 10, 15, 20 ve 30 oranlarında karışıma ikame edilerek numuneler oluşturulmuş ve TS 687 ve TS24 standartlarına uygun olarak kimyasal, fiziksel ve

mekanik testleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Mekanik deney sonuçlarına göre % 10 sepiyolit ilavesinin harçın mekanik ve fiziksel özelliklerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Normal Portland çimento karışımı ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı %3.5, %6.2 ve %7.7, eğilme dayanımı %12.8, %5.7 ve %6.1 olarak elde edilmiştir. Bu iyileşmenin sepiyolit ile çimento matrisi arasında bir ağ yapısının oluşmasıyla sağlandığı görülmüştür [18]. A. Demir ve ark. yaptıkları çalışmada Eskişehir civarına ait sepiyolit CEMI 42.5R çimentosu yerine ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek harçlar elde edilmiştir. Üretilen sepiyolit ikameli harç numunelerinin 7., 28. ve 56. günlerdeki fiziksel ve mekanik özellikleri gözlemlenmiştir. Çalışmada Eskişehir civarından çıkarılan beyaz sepiyolit kullanılmıştır. Kullanılan sepiyolite ait fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan sepiyolit fiziksel ve kimyasal özellikleri [19]

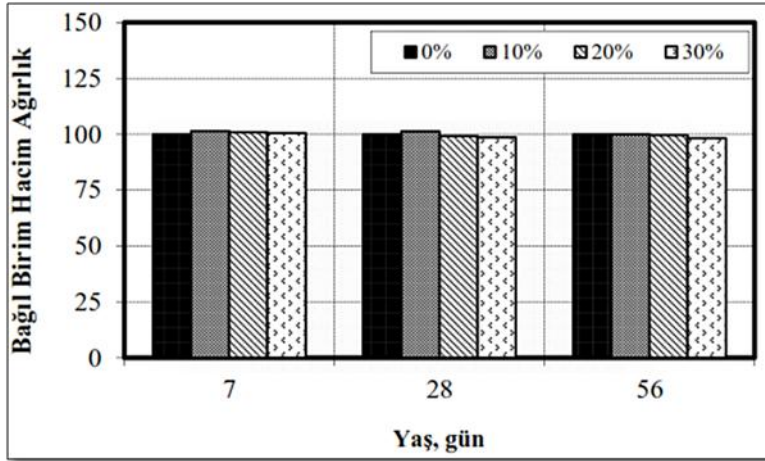
| $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $MgO$ | $CaO$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | Özgül Ağırlık |
|-----------|---------|-----------|-------|-------|---------|--------|---------------|
| 1.56      | 55.97   | 0.77      | 22.81 | 0.57  | 0.12    | 0.27   | 2-2.25        |

Üretilen 7, 28 ve 56 günlük harç numuneleri üzerinde ultrases geçiş süresi, birim ağırlık, su emme, kılcallık ve basınç deneyleri yapılmıştır. Çimento boyutunda öğütülen sepiyolit numunelerde çimento ağırlığının %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilmiş, dayanım deneyleri için TS EN 196-1'e uygun olarak üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki harç numuneleri üretilmiş ve 7., 28. ve 56. günlük dayanımları incelenmiştir. Çalışma sonucunda numunelerin basınç dayanımları 29.4 ile 48.42 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 0% serisinin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanım değerleri sırası ile 40.2, 47.02 ve 47.83 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 2.).



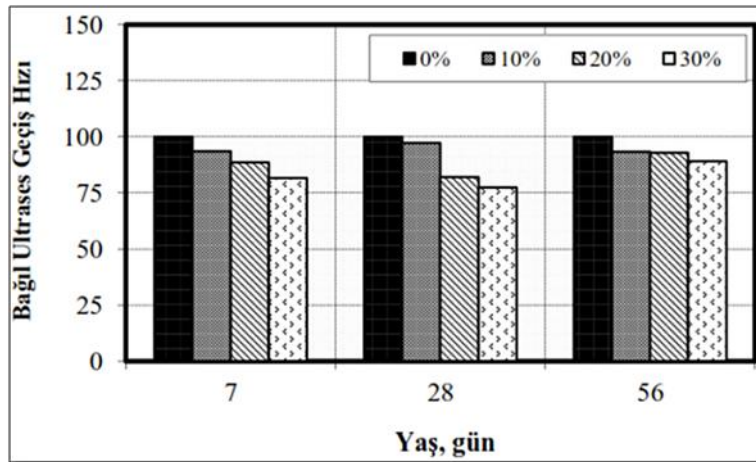
Şekil 2. Numunelerin 7., 28. ve 56. günlük basınç dayanımı değerleri [19]

%0 referans numunelerine göre sepiyolit içeren serilerinin basınç dayanımları düşük çıkmıştır. 28. gün sonrası basınç dayanımlarına bakıldığında sadece %10 serisinin dayanımı 48.42 MPa ile %0 serisinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle sepiyolit karışimli çimentolarda karışım oranının %10'unu aşmaması önerilmektedir. Daha yüksek miktartlı kullanımlar ancak taşıyıcı özelliği bulunmayan bölme duvarlar gibi uygulamalar ve tesviye betonları için önerilmektedir. Birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. Harç numunelerinin bağıl birim hacim ağırlık değerleri [19]

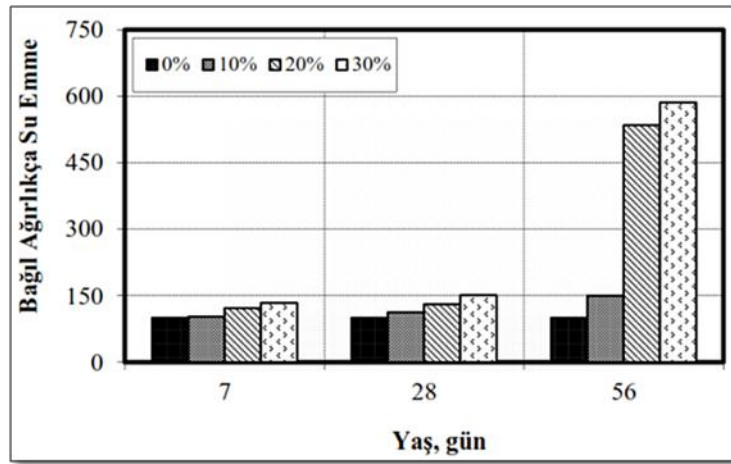
Grafik incelendiğinde %20 ve %30 sepiyolit katkıli numunelerin birim hacim ağırlıklarında ilerleyen yaşlarında %1 oranında düşüş görülmüştür. Bunun nedeninin çimentonun hidratasyonunu büyük ölçüde tamamladığı ve böylece çimento ile ikame edilen sepiyolit özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [19]. Ultrases geçiş hızı sonuçları (Şekil 4) incelendiğinde ise başlangıçta %0 serisine göre artan sepiyolit miktarı arttıkça üretilen harç numunelerinin ultrases geçiş hızlarında düşüşler görülürken 56. günde yapılan ölçümlerde bu düşüşte bir azalmanın olduğu saptanmıştır. Sonuçlar %10'un üzerinde ikame edilen sepiyolit katkısının harç numunelerinin porozitesini arttırdığını göstermektedir. Bunun nedeninin ise sepiyolit lifli yapısı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4. Harç numunelerinin bağıl ultrases geçiş hızı değerleri [19]

Yapılan çalışmada üretilen numunelerin su emme değerleri (Şekil 5) incelendiğinde ise %0 serisine göre %10 serisi tüm yaşlarda en az değişim gösteren seri olmuştur. Sepiyolit miktarında artmaya bağlı su emme değerlerinde değişim ilerleyen yaşlarda %0 serisi ile kıyaslandığında artmıştır. Genel itibariyle sepiyolit boşluklu yapısı ve buna bağlı su tutabilme özelliğinden kaynaklı ikame oranı arttıkça bütün numune serilerinde su emme yüzdesinde artış olduğu görülmüştür.





Şekil 5. Harç numunelerinin bağıl ağırlıkça su emme değerleri [19]

Sonuç olarak sepiyolit ikame oranının çimento miktarının %10'unu geçmemesi önerilmektedir. Bu değerden daha yüksek miktarda kullanımların sadece taşıyıcı olmayan bölme duvarlar gibi uygulamalarda ve tesviye betonlarında önerilmektedir. Ayrıca sepiyolit katkılı harç numunelerinin birim ağırlıkları %0 numune serisinden daha az olmasından kaynaklı sepiyolit içeren çimentolar hafif beton üretiminde de kullanılabilmesi uygundur. Üretilmesi düşünülen sepiyolit katkılı betonlar, ses yalıtımı için kullanılan hafif ve boşluklu bölme duvarlarında, döşemelerde, dolgu ve tesviye betonu olarak kullanılması bu araştırmanın bir sonucu olarak önerilmektedir [19]. M. Savaş ve ark. yaptıkları çalışmada gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine sepiyolit ikamesinin gazbetonun ısı özellikleri ve basınç dayanımı özelliklerine etkisini araştırmıştır. Yapılan araştırmada, ticari olarak üretimi yapılan ve duvar elamanı olarak kullanılan G2/04 sınıfı gazbeton üretimi baz alınmıştır. Eskişehir Sivrihisar bölgesinden alınan sepiyolit gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek gazbeton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numune örnekleri 60 °C sıcaklıkta 4 saat kür koşullarında bekletildikten sonra 180 °C'de 11 bar basınç altında 6.5 saat süre ile otoklavda kür işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen numunelerin basınç dayanımı ve ısı iletkenlik özellikleri incelenmiştir. 80µ altında yassı ve yuvarlak partiküller veya amorf agregalar halinde oluşan ve tabakalı bir yapıda olan sedimanter β-sepiyoliti kullanılmıştır ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.'te verilmiştir [20].

Çizelge 5. Kullanılan sepiyolit fiziksel özellikleri [20]

| Fiziksel Görünüm   | Beyaz Toz Veya Granül |
|--------------------|-----------------------|
| Renk               | Beyaz                 |
| Koku               | Kokusuz               |
| Kızdırma Kaybı (%) | 32.69                 |

Numune serilerinde Akyüz Kireç Sanayi LTD. ŞTİ.' den elde edilen kireç kullanılmış ve fiziksel özellikleri Çizelge 6.'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kullanılan kirecin fiziksel özellikleri [20]

| Fiziksel Görünüm   | Beyaz Toz Veya Granül |
|--------------------|-----------------------|
| Renk               | Beyaz                 |
| Koku               | Kokusuz               |
| CaO (%)            | 94.75                 |
| Kızdırma Kaybı (%) | 3.21                  |



Deneyde kullanılan kuvarsit, AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.' e ait Kırşehir- Boztepe ocak sahasından temin edilmiştir. Temin edilen kuvarsit XRD ve kızdırma kaybı deneylerine tabi tutulmuş ve kızdırma kaybı deneyi sonucunda elde edilen değer %3.090 bulunmuştur. Numune serilerde Kılıçoğlu Alçıtaşı Nakliye ve Ticaret Ltd. Şti.' den temin edilen alçıtaşı kullanılmış ve fiziksel özellikleri Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 7. Kullanılan alçıtaşının fiziksel özellikleri [20]

| <b>Fiziksel Görünüm (Mm)</b> | <b>Kızdırma Kaybı (%)</b> | <b>Bağlı Su (%)</b> | <b>SO<sub>3</sub> (%)</b> | <b>CaO (%)</b> |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| Maks. 500                    | Maks. 6                   | 17-24               | Min. 38                   | 26.5-32        |
| 450                          | 2.04                      | 18.96               | 42.09                     | 29.5           |

Çalışmada kullanılan malzemeler ve karışım oranları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Numune serilerinin karışım oranları [20]

| <b>Karışım Oranları (1 m<sup>3</sup>)</b> |                              |                 |                  |                |              |                  |             |             |
|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|------------------|-------------|-------------|
|                                           | <b>Sepiyolit İkame Oranı</b> | <b>Kuvarsit</b> | <b>Sepiyolit</b> | <b>Çimento</b> | <b>Kireç</b> | <b>Alçı Taşı</b> | <b>Su</b>   | <b>Al.</b>  |
| <b>Seri</b>                               | <b>%</b>                     | <b>(kg)</b>     | <b>(kg)</b>      | <b>(kg)</b>    | <b>(kg)</b>  | <b>(kg)</b>      | <b>(kg)</b> | <b>(kg)</b> |
| SK 0                                      | 0                            | 168             | 0                | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |
| SK 5                                      | 5                            | 160             | 8                | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |
| SK 10                                     | 10                           | 151             | 17               | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |
| SK 15                                     | 15                           | 143             | 25               | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |
| SK 20                                     | 20                           | 134             | 34               | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |
| SK 25                                     | 25                           | 126             | 42               | 91             | 31           | 29               | 262         | 0.55        |

Numuneler 11 bar basınç altında ve 180 °C sıcaklıkta yaklaşık 6.5 - 7 saat boyunca doymuş buhar kür işlemine tabi tutulduktan sonra basınç testi yapılmak üzere 100x100x100 mm boyutlarında, ısı iletkenlik testi için ise 300x300x35 mm boyutlarında kesilmiş ve numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda deney numunelerinin basınç dayanımı değerleri incelenmiş ve Çizelge 9'da sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 9. Deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [20]

| <b>Seri</b> | <b>İkame Oranı %</b> | <b>Basınç Dayanımı (MPa)</b> | <b>Isıl İletkenlik (W/mK)</b> |
|-------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|
| SK 0        | 0                    | 2.47                         | 0.105                         |
| SK 5        | 5                    | 2.47                         | 0.101                         |
| SK 10       | 10                   | 2.45                         | 0.088                         |
| SK 15       | 15                   | 2.35                         | 0.090                         |
| SK 20       | 20                   | 2.09                         | 0.093                         |
| SK 25       | 25                   | 1.72                         | 0.095                         |

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin birim ağırlık değerleri ile ısı iletkenlik değerleri arasında doğrusal bir oran gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin numune birim ağırlığının artmasına bağlı olarak gazbeton numunelerinin de daha yoğun bir hal aldığı, bu yoğunluğa bağlı olarak toplam gözeneklilik oranında azalma ve gözenek yapısında bozulmalar meydana geldiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; karışım su miktarı sabit tutulurken sepiyolit miktarı artırılarak üretilen gazbeton numunelerinde,

- Sepiyolit absorbe etme özelliği nedeniyle sepiyolit miktarı arttıkça karışımın su ihtiyacı artmıştır,
- Gazbeton karışımlarının yoğun bir kıvam almaya başladığı,
- Kabarma miktarında azalmanın meydana geldiği,
- Gözenek yapılarının bozulduğu,
- Basınç dayanım değerlerinin azaldığı,
- Isıl iletiminde iyileşmenin meydana geldiği görülmüştür [20].

Changling He ve ark. sepiyolitün pozolanik aktivitesi üzerine yaptıkları çalışmada İspanya'nın Valdemor bölgesinden temin edilen sepiyolit numuneleri 370, 570 ve 830°C'de kalsine işlemine tabi tutulmuş ve ham ve kalsine sepiyolit-çimento harçlarının teknolojik özellikleri 2, 7., 28. ve 91. günlerde reoloji ve basınç dayanım testleri ile incelenmiştir [21]. Yapılan çalışma sonucunda ham ve kalsine sepiyolitlerin çimento harçları üzerinde basınç dayanımına etkisi Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Ham ve kalsine sepiyolit-çimento harçlarının basınç dayanımı değerleri [21].

| Kür Süresi | Basınç Dayanımı (Mpa) |        |        |        |          |
|------------|-----------------------|--------|--------|--------|----------|
|            | 20 °C                 | 370 °C | 570 °C | 830 °C | Ref. OPC |
| 2          | 7.6                   | 9.5    | 11.3   | 19.9   | 33.7     |
| 7          | 14.3                  | 14.8   | 20     | 45     | 53.7     |
| 28         | 14.2                  | 21.1   | 26.6   | 58.3   | 69.2     |
| 91         | 19.5                  | 22.7   | 26.4   | 58.9   | 65.6     |

Sonuçlar olarak, sepiyolitün pozolanik bir madde olarak oldukça inaktif olduğunu ve su ihtiyacının yüksek olduğunu ortaya konulmuştur. 370°C'den 570 °C'ye kadar kalsinasyon önemli ölçüde yükselmektedir. En etkili kalsinasyon sıcaklığı 830 °C'dir, bu da harcın basınç dayanımının, referans Portland çimento (OPC) harcının basınç dayanımının % 84'i oranında olduğu görülmüştür [21].

#### 4. Sonuç ve öneriler

Çalışma kapsamında sepiyolit ikameli çimentolu harç numunelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda;

- Sepiyolit katkısının %10'a kadar artması, çimentonun basınç ve eğilme dayanımı özelliklerini iyileştirdiği, bu oran arttıkça basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinde azalma olduğu,
- Yine SEM görüntüleri incelendiğinde %10'a kadar olan sepiyolit ilavesinin çimento harcındaki boşlukları doldurduğu, basınç ve eğilme dayanımında olumlu etkilere neden olduğu,
- Sepiyolitün lifsi yapıda olması ve su tutma özelliği nedeniyle %10'un üzerindeki miktarlarda katılan sepiyolit katkısının harç numunelerinin porozitesini arttırdığı buna bağlı olarak ultrases geçiş hızında düşüşe neden olduğu,
- Sepiyolitün boşluklu yapıya sahip olması ve buna bağlı su tutabilme özelliği nedeniyle sepiyolit oranı arttıkça karışımların su emme yüzdelerinin arttığı,
- Sepiyolitün pozolanik bir madde olarak oldukça inaktif olduğunu ve su ihtiyacının yüksek olduğunu ortaya konulmuştur.

- Kalsine edilmiş sepiyolitlerde ise; 370°C'den 570°C'ye kadar kalsinasyonun önemli ölçüde yükselmediği, en etkili kalsinasyon sıcaklığının 830°C olduğu, kalsine edilmiş sepiyolit ikameli harçların referans Portland çimento (OPC) ile üretilen numunelere göre daha yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Sepiyolitin gözenekli yapısı ve su emme oranının yüksekliği nedeniyle kullanılacak oranın çimento miktarının %10'unu geçmemesi önerilmektedir. Daha yüksek miktarda kullanımların sadece taşıyıcı olmayan bölme duvarlar ve tesviye betonları gibi taşıyıcılık özelliği beklenmeyen elemanlar için kullanımı önerilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] TS EN 197-1, "Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Mart 2002.
- [2] Taban S., Şimşek O., "Zeolitik Tüf Katkı Oranı ve Deniz Suyunun Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 2009, 24(1): 145-153.
- [3] Aruntaş H.Y., Dayı M., Tekin İ., Birgül R., Şimşek O., "Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi", 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 173-180, (2007).
- [4] Gao X., Yang Y., Deng H., "Utilization of beetmolasses as a grinding aid in blended cements", Construction and Building Materials, 2011, 25: 3782-3789.
- [5] Snellings R., Mertens G., Cizer Ö., Elsen J., "Early age hydration and pozzolanic reaction in natural zeolite blended cements: Reaction kinetic sand products by in situsynchrotron X-ray powder diffraction", Cement and Concrete Research, 2010, 40: 1704-1713.
- [6] Aruntaş H.Y., Gürü M., Dayı M., Tekin İ., "Utilization of waste marble dust as an additive in cement production", Materials & Design, 2010, 31(8): 4039-4042.
- [7] Al-Amoudi O.S., Maslehuddin M., Ibrahim M., Shameem M., Al-Mehthel M.H., "Performance of blended cement concretes prepared with constant workability", Cement & Concrete Composites, 2011, 33: 90-102.
- [8] Can G., "Dünya'da ve Türkiye'de sepiyolitik kil," MTA Fizibilite Etüdları Dairesi Jeoloji Mühendisliği, ss. 166-170, 1992.
- [9] Sabah E., Çelik M.S., "Sepiyolit: Özellikleri ve Kullanım Alanları", 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu/14-J, İzmir, Türkiye, 1999.
- [10] Kogure T., "Sepiolite Photograph [Online]". Erişim: <http://inovasilis.com/icerik/kullanim-alanlari.https://cfonline.org/foto-file-microscopic-images-of-clay-and-minerals/>, 2017.
- [11] Weaver C.E., Pollard L.D., "The Chemistry of Clay Minerals", Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, London, New York, 1973, 10: 127.
- [12] Çelik M.S., Sabah E., "Sepiolite", Turkey Industrial Minerals Inventory, General Secretariat of Istanbul Mineral and Metals Exporters' Association, 1999, 181-187.
- [13] MTA (1982), Sepiyolit [Online]. Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/sepiyolit>.
- [14] Gonzalez-Barros M.R., "Spanish industrial minerals and rocks," Industrial Minerals, 1995: 63-117.
- [15] Devlet Planlama Teşkilatı, "Lületaşı, Tabakalı Sepiyolit, Atapulgit (Paligorskit), VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu," Türkiye, Rap. DPT: 2421, 1996.
- [16] MTA, "Türkiye Maden Rezervleri (Görünür + Muhtemel) [Online]". Erişim:

- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-rezervleri>, 2013.
- [17] Kavas T., Sabah E., “Sepiyolitın Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim , (2001).
- [18] Kavas T., Sabah E., Çelik M.S., “Structural properties of sepiolite-reinforced cement composite”, Cement and Concrete Research, 2004, 34: 2135–2139.
- [19] Demir A., “Sepiyolitli Harçların Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Ejovoc Special Issue 2nd International Multidisciplinary Eurasian Congress, 2016.
- [20] Savaş M., Demir İ., Güzelküçük S., Şengül Ç. G., Yaprak H., “Sepiyolit İkame Edilmiş Gazbetonun Isıl ve Basınç Dayanım Özellikleri”, Journal of Polytechnic, 2014, 17(1): 43-47.
- [21] He C., Makovicky E., Osbæck B., “Thermal treatment and pozzolanic activity of sepiolite”, Applied Clay Science, 1996, 10: 337-349.
- [22] Jarabo R., Fuente E., Moral A., Blanco Á., Izquierdo L., Negro C., “Effect of sepiolite on the flocculation of suspensions of fibre-reinforced cement”, Cement and Concrete Research, 2010, 40: 1524–1530.
- [23] Fuente E., Jarabo R., Moral A., Blanco Á., Izquierdo L., Negro C., “Effect of sepiolite on retention and drainage of suspensionsof fiber–reinforced cement”, Construction and Building Materials, 2010, 24: 2117–2123.
- [24] Pu S., Duan P., Yan C., Ren D., “Influence of sepiolite addition on mechanical strength and microstructure of fly ash-metakaolin geopolymer paste”, Advanced Powder Technology, 2016, 27: 2470–2477.
- [25] Melo J. P., Aguilar A. S., Olivares F. H., “Rheological properties of aerated cement pastes with fly ash, metakaolin and sepiolite additions” , Construction and Building Materials, 2014, 65: 566–573.
- [26] Alan N., İşçi S., “Surface modification of sepiolite particles with polyurethane”, Progress in Organic Coatings, 2014, 77: 444– 448.
- [27] Andrejkovicová S., Velosa A. L., Rocha F., “Air lime–metakaolin–sepiolite mortars for earth based walls”, Construction and Building Materials, 2013, 44: 133–141.
- [28] Abbaslou H., Ghanizadeh A. R., Amlashi A. T., “The compatibility of bentonite/sepiolite plastic concrete cut-off wall material”, Construction and Building Materials, 2016, 124: 1165–1173
- [29] Aguilar A. S., Melo J. P., Olivares F. H., “Microstructural analysis of aerated cement pastes with fly ash, Metakaolin and Sepiolite additions”, Construction and Building Materials, 2013, 47: 282–292.
- [30] Aguilar A. S., Olivares F. H., “Assessment of phase formation in lime-based mortars with added metakaolin, Portland cement and sepiolite, for grouting of historic masonry”, Cement and Concrete Research, 2010, 40: 66–76.