

# Genleşen Killerin Doğal Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

L. Gündüz, M. Bekar, N. Şapcı

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta*

**ÖZ:** Günümüzde, gözenekli ve hafif malzemelerin farklı endüstri alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler, genellikle inşaat yapı sektöründe, hafif yapı elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, kimyasal bileşimleri ve yapısal form özellikleri itibarıyla, inşaat endüstrisindeki kullanım alanları da genişlemektedir. Bu bildiride, genleşmiş kil agregalar üzerine yapılan bir araştırmanın bulgularına göre, inşaat sektöründe bu malzemelerin hafif yapı elemanı blok ürünleri olarak kullanılabilirliği için bilinmesi gereken teknik özellikler analiz edilmiştir. Ayrıca, bu malzemelerin teknik kapasite olarak karşılaştırmaları da tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Genleşmiş Kil, Hafif Agregalar, Yapı Bloğu, Analiz, Özellik

**ABSTRACT:** Nowadays, the usage of porous and lightweight materials shows a gradually rising trend in different industrial areas. In majority, they are used to produce lightweight building elements in civil structuring sector. However, their usage areas are getting world wide based on their chemical components and also structural form properties. In this paper, according to the research findings carried out on expanded clay aggregates, the technical properties required to know for using them as lightweight building masonry block products in building industry were presented in detail. Their properties were also discussed as comparison of technical capacities.

**Keywords:** Expanded Clay, Lightweight Aggregate, Masonry Block, Analysis, Property

## 1. GİRİŞ

Farklı endüstri dallarında kullanıla gelmiş, değişik karakteristik özellikler sergileyen hafif agregalar, bugün özellikle inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak, birçok alanda değerlendirilmektedir. Hafif yapı elemanı üretiminde kullanılan hafif agregaların dağılım aralığı oldukça geniştir. Bunların yaygın anlamda kullanılan isimleri, orijinlerine ve üretimlerinin yapıldığı ülkeye göre değişiklik göstermektedir. Agregalar, temelde 3 ana gruba ayrılmaktadırlar: Doğal agregalar, Endüstriyel olarak üretilen suni agregalar, Endüstriyel ürünlerin atıklarından elde edilen suni agregalar.

Doğal hafif agregalar, genelde bir volkanizma ürünü olarak oluşmuş gözenekli ve geniş kütleli dağılımlar gösteren endüstriyel hammaddelerdir. Bu kapsamda değerlendirilen ve güncel oluşumları bilinen agrega türleri olarak pomza, diyatomit, perlit, vermikülit, puzzolanlar, tuf ve volkanik cürufur sayılabilmektedir. Bunlardan perlit ve vermikülit, bir ısı işlem sonrası geliştirilerek kullanılırken, diğerleri doğada oluşum şekliyle herhangi bir ısı işlemi gereksinim duyulmaksızın kullanılmaktadırlar. Endüstriyel olarak üretilen suni agregalar; geniş bir çeşitliliğe sahip ticari isimleri ile bilinmekle birlikte temel sınıflandırma, üretim esnasında kullanılan hammadde ve belirli oranda genişlemeye neden olarak görünür özgül ağırlık değerinde azalma sağlayan üretim yöntemine göre yapılmaktadır. Yapısal amaçlı olarak üretilen beton içerisinde kullanılan ve doğal malzemelerden elde edilen hafif agrega türleri; genleşmiş kil, şeyl ve arduvaz olarak sayılabilmektedir. Endüstriyel ürünlerin atıklarından elde edilen suni agregalar ise; endüstriyel ürünlerin atıklarından elde edilen suni agregalar, fırın klinkeri, kömür cürufu, sinterlenmiş ve pulvarize edilmiş uçucu küller vb. sayılabilir.

Diğer taraftan, ısı-ses izolasyonu ve özgül ağırlığı bakımından normal betona nazaran avantajlara sahip olan hafif beton, hızla artan bir kullanım alanı göstermektedir. Bu bakımdan, hafif beton eldesinde veya hafif yapı elemanlarının geliştirilmesinde, hammadde olarak değerlendirilen malzemelerin teknik özelliklerinin detay olarak bilinmesi gerekmektedir (Özer, 1982, Gündüz 1998). Depremlerde yapılara gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Binanın ana yükünün statik değerlere bağlı kalınarak hafifletilmesi deprem riskini azaltır. Bilindiği gibi ölü yükleri fazla olan bir yapı, deprem sırasında daha fazla salınım yapmaktadır. Yapılan deneyler hafif malzemeden yapılan duvarların küçük depremlerde, taşıyıcı sistemde bir hasar olmasa bile zarar gördüğünü ortaya çıkarmıştır. Büyük depremlerde ise, bunların basınç dayanımları az olduğundan, kolonlar çökerken ve duvarlara yük aktarılmaya başlarken sorun çıkmaktadır. Bu dezavantajlarına rağmen binalarda hafif yapı malzemeleri kullanıldığında bina iskeletine ve temeline daha az yük bineceğinden ve yapının toplam kütlesi azalacağından deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri azalmakta, sarsıntıların bina üzerindeki yıkıcı etkileri zayıflamaktadır (Eriç, 1994). Hafif yapı malzemelerinin diğer bir faydası ise ısı yalıtım özellikleri nedeniyle binalarda sağladığı enerji tasarrufudur. Hafif yapı malzemesi ve agrega grubunda değerlendirilen genleşen kil agregalar bugün Avrupa ve A.B.D.'de farklı amaçlarla kullanımının yanı sıra özellikle yapı sektöründe hafif yapı elemanlarının üretilmesinde vazgeçilmez ana hammadde kaynaklarından birisi konumundadır. Ülkemizde ise, genleşen killer üzerine yeterli düzeyde ArGe çalışmalarına rastlanılmadığı gibi, endüstriyel bağlamda kayda değer bir yatırım da görülmektedir. Oysa ki, ülkemiz genleşen kil rezervleri açısından önemli sayılabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, bu potansiyel varlığında yer alan kil malzemelerinin genleşme özellikleri detaylı olarak analiz edilmeli ve endüstriyel olarak kullanılabilirlik kriterleri ve özellikleri tanımlanmalıdır. Bu bağlamda, genleşen killeri tanımak ve mühendislik özelliklerini araştırmak önemli bir husustur. Bu bağlamda, yapılan bir ön ArGe çalışmasında genleşen killerin genel olarak irdelemesi yapılmış olup, bu makalede sürdürülmekte olan deneysel bir çalışmanın öz bulguları sunulmuştur.

## 2. GENLEŞEN KİLLER

### 2.1. Genleşmiş Kil Nedir

Sinterleşme süreci çabuk olan ve 1100-1300°C dereceler arasında belirli bir hacim artışına uğrayan kil, killi şist ve şeyllere, genel olarak genleşen killer adı verilmektedir. Genleştirilmiş kil için kullanılan yaygın hammaddeler; erken sinterleşen kil, kumlu kil (Lem, mil), killi şist ve şifertondur. Bunlar minerolojik olarak illit, serizit ve montmorillonit gibi tabakalı silikatlardan meydana gelir. Bazı hallerde bir miktar kaolinit ve klorit ile değişen miktarlarda kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve limonit ihtiva ederler (DPT, 2005). Bu malzemeler 1100-1300°C de pişirilmesi ile oluşan granüller gözenekli seramik ürünleri olup, dış yüzeylerinde iyi sinterleşmiş sert ve piroplastik yapıda bir kabuk oluşmaktadır (Şekil 1). İç kısımda ise, malzeme bünyesinde bulunan gazların bünyeyi terk etmesi nedeniyle, homojen, kapalı ve küçük boşluklar halinde hücreler ihtiva eden bir yapı meydana gelmektedir (Anonim, 2000). Bu oluşum, inşaat sektöründe hafif yapı elemanlarının eldesinde hafif agrega malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 1. Genleşmiş kil agreganın genel bir görünümü.

Genleştirilmiş kil, hafif yapı malzemelerinin basınç mukavemeti en yüksek olanlarından biridir. İngilizce'de "*expanded clay*", Almanca'da ise "*blaehton*" adıyla bilinmektedir. Dünya ticari piyasasında

üretim ve teknik isimlendirmelerine göre günümüzde LECA, LIAPOR ve KERAMZIT terminolojik tanımlamaları ile de anılmaktadırlar.

## 2.2 Genleşmiş Kil Üretim Yöntemi

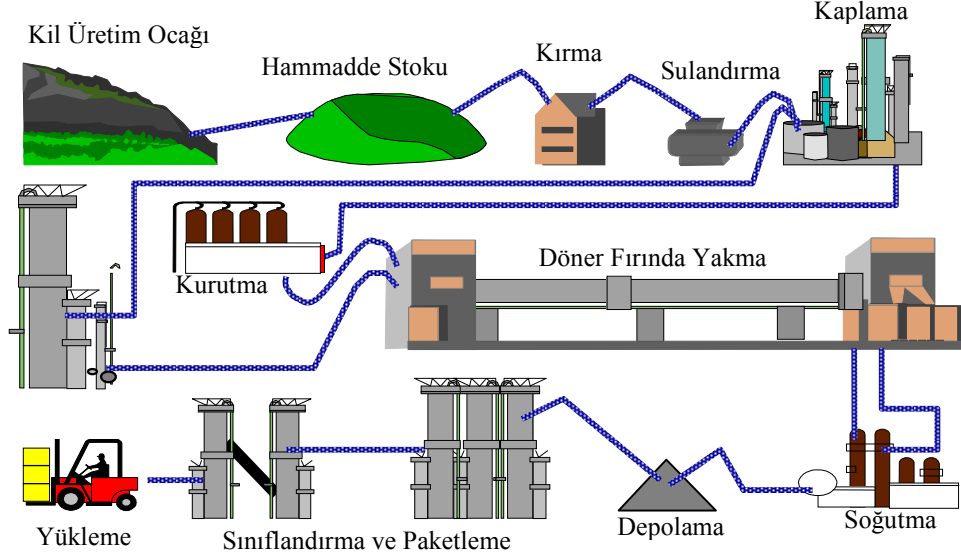
Genleşmiş kil, dünyada hafif agrega amaçlı olarak en yaygın şekilde kullanılan bir agrega türüdür. Üretim prensibi 1918'den beri bilinmekle birlikte, endüstriyel üretimi 1928 yılında başlamıştır. Üretim prosesi, tesisin özelliğine göre değişim göstermektedir (Anonim, 2000; Şener, 1999; DPT, 2005). Yanma (ısıtma) işleminden önce, hammaddenin hazırlanmasında *kuru proses* ve *sulu proses* olmak üzere 2 temel yöntem kullanılmaktadır (Anonim, 2000).

*Kuru proseste*; kil öncelikle çok ince toz boyutuna indirgenerek kuru bir şekilde elde edilir. Bu çok ince boyutlu toz, 2-4 metre çapında sabit hızda dönen düz tabanlı bir kap içerisinde su ilavesi ile pelletlenir. Elde edilen pelletler, merkezkaç kuvvetin etkisiyle yüksek derecede sıkışmış ve kompaktlaşmış durumdadır (Anonim, 2000).

*Sulu proseste ise*; ocaktan gelen kil, homojen bir dağılıma getirilerek kırılır ve öğütülmek üzere değirmenlere aktarılır. Daha sonra su ve genleştirici katkıları ilave edilerek elde edilen ince ve plastik malzeme, sızdırma prosesi için, delikli levhalar içerisinde geçirilir. Kullanılan deliklerin çapı, elde edilmek istenen agrega çapına göre belirlenir. Daha sonra deliklerden geçirilerek sızdırılmış macun durumundaki kil, istenilen uzunluklarda kesilir. Elde edilen silindirik pelletler, ilk önce döner fırınlarda kurularak yuvarlak şekil kazandırılır (Anonim, 2000). Daha sonra, yine aynı fırınlar içerisinde yakma işlemi uygulanır (Şekil 2). Yakma sıcaklığı, 1100°C ile 1300°C arasında gerçekleştirilir. Fakat burada önemli olan faktör, gazların, pelletlerin içerisinde kaçmasına fırsat verilmeden 700-1150°C arasında ani bir ısı yükselişinin sağlanması gerekliliğidir. Döner fırın çıkışından genellikle saatte 10-50 ton arasında malzeme elde edilir. Daha sonra agregalar kodlanarak elenir ve farklı tane boyu fraksiyonlarına ayrılır. Elde edilen agregalar, kahverengiden kırmızı renge doğru bir renk aralığına sahiptirler (Şekil 3). Bazı üreticiler, yapısal olarak güçlendirilmiş beton ve öngerilmeli beton üretiminde kullanılmak üzere, bazı özel hafif agrega türleri de imal etmektedirler. Ancak hafif agregaların dayanımı, yoğunluk arttırılmak suretiyle iyileştirilebilmektedir (Şener, 1999; Anonim, 2000). Uygun hammadde ve teknoloji seçimiyle istenilen miktarda, istenilen tane büyüklüğünde ve özelliğinde malzeme üretimine imkan verecek, farklı tüketim alanlarının değişik taleplerini karşılayabilmesi geliştirilmiş killerin en önemli üstünlüğüdür. Aynı zamanda yüksek basınç direncine sahip olan bu malzemeler, beton yapılarda çok rağbet gören hafif bir katkı maddesi haline gelmiştir (DPT, 2005). Bilhassa köprü ve gökdelen inşaatlarında bu hafif malzemeler büyük gelişmeleri mümkün hale getirmişlerdir. Killerdeki genleşmeyi sağlayan temel unsurlar şunlardır (Anonim, 2000):

- Yüksek plastisite ve 2 mikrondan küçük tane oranı değeri en az %35`dir,
- Özellikle illit, serisit, demirli klorit ve mika grubu silikatlar bulunmalı,
- Yapıda %5`den az karbonat olmalı,
- %5-10 arasında demir oksit bulunmalı,
- %0.5-2.5 arasında organik karbon bulunmalı,
- %12-25 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> organik karbon bulunmalı,
- %50-78 SiO<sub>2</sub> organik karbon bulunmalı,
- Bileşenlerin sinterleşme oranı birbirlerine yakın ve 1200°C derece civarında olmalı,
- Kum bileşenlerinin minimum miktarlarda olmalıdır.

Ayrıca killerde genişmeyi artırmak ve hızlandırmak için dizel yağı, bitüm, kömür, kok, alçı, karbon, lignum sülfat, demir oksit, pirit, pencere camı, kireç ve kırmızı çamur katılmaktadır (DPT, 2005).



Şekil 2. Genleşmiş kil agregaların üretimi.



Şekil 3. Farklı boyutlarda genleşmiş kil agregalar.

### 2.3 Genleşen Kil Rezervleri

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de paleozoik devri; siyah şist formasyonu; mezozoik ise beyaz kalker formasyonu olarak bilinir (DPT, 2005). Masif kalkerlerin çoğu yerde heyalana müsait siyah şistlerin üstünde yüzdükleri görülür. Bu siyah şistler ve tektonik zonlarda bunlardan oluşan siyah plastik killer genişleme özelliğine sahiptir (DPT, 2005). Toros dağlarında Feke-Saimbeyli, İstanbul-Zonguldak-Kastamonu ve Ankara-Kalecik yörelerinde bu formasyonlar geniş alanlarda yüzeylenme göstermektedir. Bolu-Göynük yöresinin kömürlü tersiyer killerinin de genişlediği bilinmektedir (DPT, 2005). Ancak ne var ki, ülkemizde yeterli düzeyde hiçbir yerde rezerv etüdü yapılmamıştır.

### 3. GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALARININ HAFİF AGRAGA OLARAK ANALİZİ

Genleşmiş kil agregaların teknik kapasite değerlerini analiz etmek ve özellikle inşaat endüstrisinde hafif agrega olarak değerlendirilebilirliği üzerine bir ArGe çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezinde yürütülmektedir. Bu ArGe çalışması kapsamında ele alınan bir genleşmiş kil türünün teknik kapasite analizlerine ilişkin özet bir değerlendirme aşağıdaki paragraflarda sunulmuştur.

CaSO<sub>4</sub> ilavesiyle sinterleşmesi gerçekleştirilmiş bir genişmiş kil ürünü, öncelikle farklı tane boyutlarında sınıflandırılmış olup, bu malzemeler üzerinde bir dizi deneysel ve gözlemsel araştırma çalışması yapılmıştır. İnceleme bulguları başlıca 4 ana başlık altında toplanmıştır:

1. Özgül ağırlık analizi
2. Birim hacim ağırlık analizi
3. Suyu doygunluk ve su emme oranları analizi
4. Çözelti ortamlarına dayanım analizi

### 3.1 Özgül ağırlık analizi

Özgül ağırlık, agrega tanelerinin işgal ettiği gerçek birim hacimdeki ağırlık değeri olarak tanımlanabilmektedir. Genleşmiş kil agregaların özgül birim ağırlık değerleri, TS 3526'da belirtilen esaslara göre deneysel olarak belirlenmiş olup, analiz bulguları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Agrega örneklerinin özgül ağırlık analizi.

| Numune   | Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------------------|
| 1        | 2,35                                |
| 2        | 2,37                                |
| 3        | 2,30                                |
| Ortalama | 2,34                                |

### 3.2 Birim hacim ağırlık analizi

Beton yapımında elde edilen beton karışım kombinasyonunun birim ağırlığı, karışım elemanı olarak kullanılan beton agregasının birim ağırlığına bağımlı olarak değişim göstermektedir. Bu analiz irdelemesi için TS 1114 standardı ve TS 3529 standardında öngörülen prensipler ve limit değerler, baz parametre olarak kabul edilmektedir. Agreganın birim ağırlık değeri, agrega tanelerinin sıkışık veya gevşek, kuru veya rutubetli olmasına göre de değişik değerler almaktadır. Genleşmiş kil agregalarının nemli ve etüv kuru durumları için birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş olup, bulgular Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Genleşmiş kil agrega örneklerinin birim ağırlık değerleri.

| Boyut (mm) | Birim hacim ağırlık (Nemli durumda) (kg/m <sup>3</sup> ) | Birim hacim ağırlık (Kuru durumda) (kg/m <sup>3</sup> ) | Agregada bulunan nem miktarı (%) |
|------------|--|---|----------------------------------|
| 0-5        | 545  | 513   | 6,24                             |
| 5-10       | 390  | 369   | 5,69                             |
| 10-20      | 376  | 365   | 3,02                             |
| 20-40      | 295  | 266   | 10,90                            |

### 3.3 Suyu doygunluk ve su emme oranları analizi

Agregaların su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, beton karışım hesaplarında betonun yapımında ve denetiminde doğrudan kullanılan parametreleri oluşturmaktadır. Ayrıca, genişmiş kil tanelerinin kompasitesi, tanelerin strüktür yapıdaki doluluk oranı, agreganın su emme kapasitesine etki eden diğer bir faktördür. Bu faktör, agreganın birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmekte, *gerçek kompasite* ve *görünür kompasite* olarak iki ayrı

kategoride belirlenerek ayrı ayrı irdelenebilmektedir. Genleşmiş kil agregası örneklerinin su emme kapasiteleri ve kompasite değerleri, ASTM C 127-42 ve C 128-57 standartlarında belirtilen esaslara göre hesaplanmış olup, parametrik değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4’de verilmiştir. Hafif agregalarda genelde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarında bir değerdir. Ancak, bu değerler, agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmektedir. Bu bakımdan irdelendiğinde, genleşmiş kil agregası örneklerinin su emme yüzdeleri itibarıyla, belirtilen değerlerin altında olduğu, dolayısıyla hafif agregası için ideal su emme oranlarına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Genleşmiş kil agregalarının su emme ve kompasite değerleri.

| Agregası boyutu<br>(mm) | Su emme<br>(%) | Kompasite<br>(%) |
|-------------------------|----------------|------------------|
| 0-5                     | 11,74          | 21,92            |
| 5-10                    | 25,64          | 15,77            |
| 10-20                   | 21,91          | 15,60            |
| 20-40                   | 23,61          | 11,37            |

Çizelge 4. Genleşmiş kil agregalarının ortalama su emme değerleri.

| Tane boyutu<br>(mm) | 24. Saat<br>(%) | 48. Saat<br>(%) | 72. Saat<br>(%) | 96. Saat<br>(%) |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0-5                 | % 24,53         | % 14,93         | % 17,32         | % 11,74         |
| 5-10                | % 23,16         | % 21,18         | % 23,79         | % 25,64         |
| 10-20               | % 17,66         | % 18,66         | % 20,30         | % 21,91         |
| 20-40               | % 19,69         | % 20,17         | % 21,89         | % 23,61         |

Genleşmiş kil agregası tanelerinin porozitesi için iki ayrı tanımlama yapılabilmektedir. 1)- *Görünür porozite*, 2)- *Gerçek porozite*. Agregası tanelerinin görünür porozite değeri ya hacimce su emme oranından ya da hacim kütle ve kütlece su emme oranı değerinden hesaplanabilmektedir. Gerçek porozite değeri ise, agregasının ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir önemli fiziksel özellik ise, doyma derecesi parametresidir. Bu değer, agregası tanelerinin toplam boşluklarının ne oranda su ile dolduğunu göstermektedir. Bu da, malzemenin donmaya karşı dayanıklılığının incelenmesi açısından önem taşımaktadır. Genleşmiş kil agregası örneklerinin porozite ve doyma dereceleri, yukarıda belirtilen tanımlamalara göre belirlenmiş olup, parametrik değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Genleşmiş kil agregası tanelerinin doyma derecesi %80’ nin üzerinde bulunan malzemelerde, gözeneklerdeki suyun donması durumunda, suyun hacmini %10 oranında genişlettiği düşünüldüğünde, malzemeyi parçalama etkisi yapabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerde doyma derecesinin %80’ nin altında olması arzu edilen bir değerdir. Bu bakımdan Genleşmiş kil agregası tanelerinin durumu irdelendiğinde, doyma derecelerinin tüm boyutlarda %80’ nin altında kaldığı görülmektedir.

### 3.4 Çözelti ortamlarına dayanım analizi

Bir diğer inceleme ise genleşmiş kil agregalarının çözelti ortamlarına karşı dayanımının analizi. Bu analiz için, genleşmiş kil agregası örnekleri aşağıda belirtilen başlıca 4 çözelti ortamına maruz bırakılmış ve bu çözeltilerin bünyeye emilmeleri sağlanmıştır. 15 gün boyunca, bu çözelti ortamlarındaki agregası örneklerinin kütlece herhangi bir kayba uğrayıp uğramadıkları analiz edilmiştir. Analiz bulguları Çizelge 6’da verilmiştir.

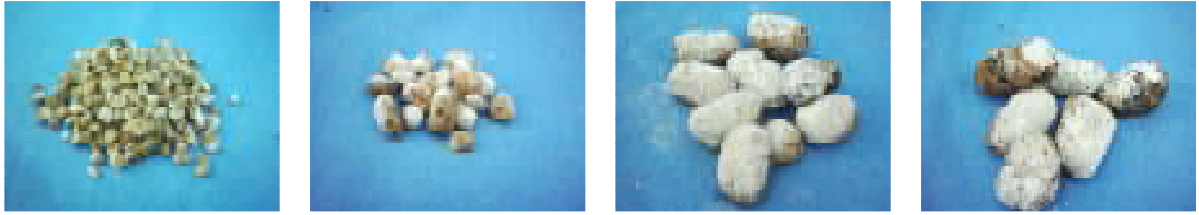
Çözelti etkileşim ortamları:

- %3 ve %5 derişimli NaCl ortamı : Özellikle sahil kenarlarında kullanım için,
- %3 ve %5 derişimli Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamı : Özellikle zemin suyu etkileşimleri için,
- %3 ve %5 derişimli H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamı : Özellikle asit yağmurları etkileşimleri için,
- %3 ve %5 derişimli HNO<sub>3</sub> ortamı : Özellikle hava kirliliği etkileşimleri için.

Çizelge 5. Genleşmiş kil agregaların porozite ve doyma derecesi değerleri.

| Agrega boyutu<br>(mm) | Gerçek porozite<br>(%) | Doyma derecesi<br>(%) |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 0-5                   | 78,08                  | 15,04                 |
| 5-10                  | 84,23                  | 30,44                 |
| 10-20                 | 84,40                  | 25,96                 |
| 20-40                 | 88,63                  | 26,64                 |

Hafif beton agregalarında çözelti etkileşimleri sonrası genelde arzu edilen kütle değişimi %4'den daha büyük olmamasıdır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, genleşmiş kil agrega boyutlarının çözelti ortamlarına maruz kalması durumunda, kütle kaybı göstermedikleri belirlenmiştir. Sodyum Sülfat etkileşimi sonrası deneysel analizlerde kullanılan genleşmiş kil agregaların genel görünüşleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4 Genleşmiş Kil agregaların sodyum sülfat etkileşimi sonrası genel görünümü.

#### 4. GENLEŞMİŞ KİL AGREGALI HAFİF YAPI ELEMANI OLARAK BLOK ANALİZİ

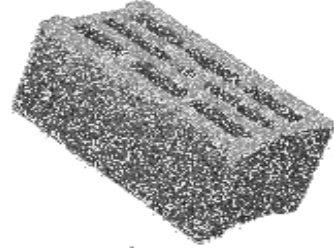
Farklı tane boyutlarında hazırlanmış genleşmiş kil agrega malzemeleri ile hafif yapı elemanı blokların analizine yönelik bir dizi deneysel inceleme yapılmıştır. Bu incelemede, 0/5mm ve 5/10mm genleşmiş kil, 0/3 mm taş unu, 0/3mm tuf ve 0/3 mm pomza agregaları ile 162 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajında hafif beton örnekleri vibrasyon + presleme ünitesinde kuru karışım kıvamında dökülmüştür. Bu hafif beton analizlerinde, öncelikle en optimum karışım kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla, beton örnekleri 10x10x10cm'lik standart küp numuneleri olarak elde edilmiş ve normal ortam koşullarında doğal kütleme işlemine tutulmuştur. Bu küp numuneler, elde edilecek boşluklu blok elemanlarının dolu hacmini oluşturacak hafif harç kısmını temsil etmektedir. Genleşmiş kil agregalı blok elemanlarının yüzey görünümü Şekil 5'de gösterilmiştir. Genellikle tesislerde üretilen blok elemanları imalattan 14 gün sonra satışa sunulması ve dolayısıyla üretim sonrası 14. günde kurutmaya tabii tutulmadan kullanıcıya sevk edilmesi nedeniyle, blok elemanlarının analizi de 14. gün sağladığı teknik parametreler bakımından analiz edilmesi planlanmış ve mukavemet deneyleri 14. günde yapılmıştır.

Bu olgu bağlamında elde edilen küp numuneler, 14. günde birim ağırlık ve mukavemet belirleme işlemine tabii tutulmuşlar ve elde edilen bulgular ışığında, boşluklu bir blok elemanın teknik değerlerinin ne olabileceği hususunda kestirimde bulunulmuştur. Buradaki uygulamada kullanılan blok elemanının genel formu Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu analiz irdelemesinde, özellikle blok elemanı olarak 19x39x18.5 cm boyutlarında 3 sıra boşluklu blok geometrisine sahip blok elemanının sağlayabileceği değerler bakımından

bir değerlendirme yapılmıştır. Burada da, blok elemanının 14. günde yaş birim ağırlık değeri, sağlayacağı mukavemet, birim ağırlık sınıfı, ısı iletkenlik değeri ve duvar örgüsü sonrası ısı geçirgenlik direnci gibi teknik parametreler hesap yöntemine göre kestirimi yapılmıştır.



Şekil 5. Genleşmiş kil agregalı blok elemanlarının yüzey görünümü.



Şekil 6. Analizlerde kullanılan boşluklu hafif yapı elemanı blok tasarımı.

Genleşmiş kil agregalar ile elde edilebilecek blok elemanları için yapılan ArGe çalışmasında alternatif karışım kombinasyonları hazırlanmış olup Çizelge 7'de gösterilmiştir. Toplam 12 serilik bir karışım kombinasyonunda dökülen küp örneklerinin 14. gün birim ağırlık ve dayanım değerlerine ilişkin bulgular, kullanılan katkı malzemesinin kullanım miktarına bağımlı olarak Çizelge 8'de verilmiştir. Ayrıca bu veriler ışığında, karışım kombinasyonlarında elde edilecek 3 sıra boşluklu blok elemanlarının birim ağırlık, dayanım ve ısı iletkenlik gibi teknik parametrelerinin kestirimi de Çizelge 9'da verilmiştir. Kuru karışım olarak elde edilmiş genleşmiş kil agregalı hafif beton örneklerinin 14 gün kür sonrası genel görünümü Şekil 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6. Genleşmiş kil agregaların çözelti ortamlarında etkileşimi sonrası kütle değişimi.

| Agrega boyutu (mm) | Ort. | NaCl       | NaCl       | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | HNO <sub>3</sub> | HNO <sub>3</sub> |
|--------------------|------|------------|------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
|                    |      | Derişim %3 | Derişim %5 | Derişim %3                      | Derişim %5                      | Derişim %3                     | Derişim %5                     | Derişim %3       | Derişim %5       |
| 20-40              | Ort. | % 0,90     | % 1,15     | % 0,62                          | % 0,68                          | % 4,94                         | % 4,88                         | % 0,28           | % 2,05           |
| 10-20              | Ort. | % 0,87     | % 1,29     | % 0,43                          | % 1,30                          | % 0,01                         | % 3,60                         | % 1,13           | % -1,35          |
| 5-10               | Ort. | % 0,24     | % 0,67     | % 0,05                          | % 0,38                          | % 7,44                         | % 4,96                         | % 0,87           | % -0,06          |
| 0-5                | Ort. | % -3,15    | % 5,87     | % -3,68                         | % -0,57                         | % 1,50                         | % -3,56                        | % -1,51          | % -8,83          |



Şekil 7. Genleşmiş kil agregalı kuru karışım beton örnekleri genel görünümü.



Çizelge 7. Genleşmiş kil agregalı blok elemanları için karışım kombinasyonu analizi.

| Katkı malzeme | Agrega           | K - I | K - II | K - III | K - IV |
|---------------|------------------|-------|--------|---------|--------|
| Taş Unu       | 0-5 mm Gen. Kil  | %50   | %45    | %40     | %35    |
|               | 5-10 mm Gen. Kil | %35   | %35    | %35     | %35    |
|               | 0-3 mm Taş Unu   | %15   | %20    | %25     | %30    |
|               | Çimento Dozajı   | 162   | 162    | 162     | 162    |
| Tüf           | 0-5 mm Gen. Kil  | %50   | %45    | %40     | %35    |
|               | 5-10 mm Gen. Kil | %35   | %35    | %35     | %35    |
|               | 0-3 mm Tüf       | %15   | %20    | %25     | %30    |
|               | Çimento Dozajı   | 162   | 162    | 162     | 162    |
| Pomza         | 0-5 mm Gen. Kil  | %50   | %45    | %40     | %35    |
|               | 5-10 mm Gen. Kil | %35   | %35    | %35     | %35    |
|               | 0-3 mm Pomza     | %15   | %20    | %25     | %30    |
|               | Çimento Dozajı   | 162   | 162    | 162     | 162    |

Çizelge 8. Katkı malzemesi ve miktarına göre küp örneklerinin birim ağırlık ve dayanım değerleri.

| Katkı malzeme | Katkı oranı (%) | Birim hacim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> ) | Numune dayanımı               |                               |       |
|---------------|-----------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------|
|               |                 |  | 14. gün (kg/cm <sup>2</sup> ) | 28. gün (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |
| Taş Unu       | K-I             | 15                                       | 924                           | 27,93                         | 30,58 |
|               | K-II            | 20                                       | 926                           | 23,94                         | 29,77 |
|               | K-III           | 25                                       | 1002                          | 27,25                         | 30,31 |
|               | K-IV            | 30                                       | 1052                          | 30,70                         | 32,11 |
| Tüf           | K-I             | 15                                       | 839                           | 31,92                         | 32,18 |
|               | K-II            | 20                                       | 901                           | 30,77                         | 32,92 |
|               | K-III           | 25                                       | 923                           | 24,77                         | 32,95 |
|               | K-IV            | 30                                       | 950                           | 27,57                         | 33,11 |
| Pomza         | K-I             | 15                                       | 891                           | 33,28                         | 33,89 |
|               | K-II            | 20                                       | 831                           | 22,01                         | 29,52 |
|               | K-III           | 25                                       | 936                           | 38,28                         | 46,32 |
|               | K-IV            | 30                                       | 874                           | 21,13                         | 23,88 |

Çizelge 9. Katkı malzemesi ve miktarına göre 3 sıra boşluklu blok elemanlarının teknik özelliklerinin kestirimi

(Blok Boyutu: 19x39x18,5 cm – 14. gün kür sonrası).

| Katkı malzeme | Katkı oranı (%) | Birim ağırlık (kg) | Blok dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> ) | KBHA (kg/m <sup>3</sup> ) | Isı iletkenlik (W/mK) | Isı geçirgenlik U, (W/m <sup>2</sup> K) |
|---------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| Taş Unu       | 15              | 8,93               | 22,17                               | 651                       | 0,211                 | 0,910                                   |
|               | 20              | 8,95               | 19,00                               | 653                       | 0,212                 | 0,912                                   |
|               | 25              | 9,69               | 21,63                               | 707                       | 0,229                 | 0,972                                   |
|               | 30              | 10,17              | 24,37                               | 742                       | 0,241                 | 1,013                                   |
|               | 15              | 8,11               | 25,33                               | 592                       | 0,193                 | 0,843                                   |
| Tüf           | 20              | 8,71               | 24,42                               | 635                       | 0,206                 | 0,891                                   |
|               | 25              | 8,92               | 19,66                               | 651                       | 0,211                 | 0,908                                   |
|               | 30              | 9,18               | 21,88                               | 670                       | 0,217                 | 0,929                                   |
|               | 15              | 8,61               | 26,41                               | 628                       | 0,204                 | 0,883                                   |
| Pomza         | 20              | 8,03               | 17,47                               | 586                       | 0,191                 | 0,837                                   |
|               | 25              | 9,05               | 30,38                               | 660                       | 0,214                 | 0,918                                   |
|               | 30              | 8,45               | 16,77                               | 616                       | 0,200                 | 0,870                                   |

## 5. SONUÇLAR

Yukarıdaki bölümlerde yapılan analiz çalışmaları göstermiştir ki, taş unu, tüf veya pomza agregaları katkı malzemesi olarak kullanıldığında, genleşmiş kil agregalı hafif yapı elemanı blokların bugün günümüzde diğer hafif agregalar ile üretilen blokların teknik özelliklerini sağladığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, güncel blok elemanlarından hafif ve daha yüksek mukavemete sahip blok elemanlarının üretilebileceği görülmektedir. Genleşmiş kil agregalı yapı elemanlarının türevleri yapılacak benzer araştırma çalışmaları ile genişletilmeli, ülkemiz inşaat endüstrisine yeni bir ürün ve yeni bir hammadde kullanımı sağlanmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2000. A Technical Report on The Lightweight Expanded Clay Aggregates (LECA), ESCSI, USA, s 125.
- Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s257.
- Gündüz L. (Ed.), 1988, Pomza Teknolojisi, Cilt I, Isparta, s288.
- Özer, M., 1982. Yapılarda Isı-Su Yalıtımları 2, İstanbul, Özer Yayınları:4, s230.
- Şener, F. 1999. Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, MTA, 12-13 Nisan, Ankara, s31-47.
- <http://www.mta.gov.tr/etut/genkil>
- DPT, 2005, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, “Yapı malzemeleri - Genleşen Kiler”, s69-73, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik628.pdf>