

# Ankara- Kalecik Kilinin Genleşebilme Özelliğinin Araştırılması

Osman ŞİMŞEK\*, Murat GÖKÇE

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara

(Geliş/Received : 29.07.2016 ; Kabul/Accepted : 19.10.2016)

## ÖZ

Bazı kil çeşitleri genleşme özelliğine sahiptirler. Bunlar 1100-1300 °C arasında ısıtıldıklarında (şok yöntemi) gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütleye dönüşürler. Genleşme esnasında gaz çıkışı ile agrega hacminde 5-6 kat artış meydana gelir. Genleşen kil agregaları hem hafif, hem de dış yüzeylerinin sinterleşme sonucu sertleşmesi nedeniyle hafif beton üretiminde tercih edilmektedir. Böylesi bir tercih nedeni, ölü yüklerinin azalması, aynı zamanda basınç dayanımlarının istenilen seviyede olması avantajıdır.

Bu çalışmada Ankara- Kalecik Tekebeli mevkiinden alınan kil örneklerini genleşmeye özelliğinin belirlenmeye çalışılmıştır. Yaklaşık 3000 m<sup>2</sup> lik kil sahasının 3 farklı noktadan 350-400 kg numune alınmış ve 1 mm' lik elekten geçirilmiştir. Elekten geçen kil su ile macun kıvamında hamur haline getirilmiştir. Hamurdan üretilen ham agregalar, 900 °C'den başlayarak 50 °C artırarak 1250 °C' ye kadar 5, 10 ve 15 dakika sürelerle ısıtılarak genleşmiş kil agregası üretilmiştir. Bu agrega ile 100x100x100 mm' lik beton örnekleri üretilerek basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları incelenmiştir.

İstenilen özelliğe sahip genleşmiş kil agregası 10 dakika süre ile 1150 °C' de ısıtılarak genleşme sonucu elde edilmiştir. Üretilen agreganın, genleşme oranının % 3,2 yoğunluğunun 0,970 g/cm<sup>3</sup> olduğu ve bir birinden bağımsız boşluklardan dolayı suda yüzme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımı 44,9 MPa ve birim hacim ağırlığı 1,492 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kil, genleşmiş kil, genleşmiş agrega, hafif beton.

## Investigation of the Expanded Ability of Kalecik Ankara Clay Feature

### ABSTRACT

Some types of clay are capable of being expanded. These 1100-1300 °C when heated in (shock method), they turn into a mass full of bubbles. The volume of gas output and aggregate increases about 5- 6 times during expansion process. Expanded clay aggregates are preferred for lightweight construction materials because of both light and hard outer surface sintered. Such a choice because the reduction of dead load, but also has the advantage that the desired level of compressive strength.

This study has studied to determine the expansion behavior of the clay samples taken from the Ankara-Kalecik Tekebel locality. About 3000 m<sup>2</sup> clay pitch of 350 to 400 kg samples were taken from three different points of 1 mm were sieved off. Taken clay samples were passed through a 1mm sieve. Sieve the pastry dough was made into the clay with water.

Dough made from raw aggregates, at temperatures increasing from 900 °C 50°C to 1250°C 5 is heat treated for periods of 10 and 15 minutes expanded clays were produced this heat treatment. Concrete samples (100\*100\*100 mm) were produced with this aggregate, and their compressive strength and specific bulk density were investigated. The aggregate subjected to heat treatment in 10 minutes at 1150 °C provided the desired properties. Because of a 3.2% of the expansion rate and density of 0.970 g / cm<sup>3</sup> and the independent spaces in the aggregate, it was observed that the produced aggregates are capable of floating on water. Furthermore, 28 day compressive strength and specific bulk density of concrete produced with expanded clay aggregates were 44, 9 MPa and 1,492 g/cm<sup>3</sup>, respectively.

**Keywords:** Clay, expended clay, expended aggregate, light concrete.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isıtıldıklarında gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütle oluşturan killere genleşen kil adı verilmektedir. Genleşme özelliği gösteren (aktüel deniz dibi killeri, acı-su killeri, eolik çökeller, Keuper killeri, Jura ve Devoniyen yaşlı şiferton ve şistler) killer yüksek sıcaklıkta şoklama yöntemiyle genleştirilmektedir. Kil agregası şoklama esnasında gaz kabarcıklarıyla dolu bir kütleye dönüşerek hacminde 5-6

kat artış meydana gelebilmektedir. Uygulanan yüksek sıcaklık, agreganın dış kabuğunda erken sinterleşme yol açarak sert bir yüzey oluşturur. MTA Genel Müdürlüğü Genleşen Kil Etütlerine ilk defa 20-13A1 proje numarasıyla 2000 yılında başlamış olup, çalışmalar 2001 yılında da devam etmiştir. Fakat bunun dışında herhangi bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Ülkemizde genleşen kil üretimi olmadığı gibi tüketimi de yoktur [1-3].

MTA Genel Müdürlüğü bünyesinde bir proje kapsamında GK-4 (Ankara-Kalecik), Tekebeli mevkiinde yüzeylenen siyah şistler önce grafit sonra refrakter kil ve

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: osimsek0106@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) :

şiferton açısından incelenmiş, bunların genleşen kil olduğu refrakterlik ölçümü sırasında görülmüştür. Genleşme katsayısı yüksek olan sözkonusu killerin, tektonik zonlarda fay kili şeklinde bulunduğu, geniş şist rezerv alanında yer yer gre ve kumtaşı tabakaları ihtiva ettiği gözlenmiştir. Mineralojik bileşimlerine göre genleşen kil yatakları 3 gruba ayrılır; a) Klorit, illit, kuvars ve feldspat içerenler, b) Montmorillonit, illit, kuvars içerenler, c) Kaolinit, montmorillonit, kuvars içerenler [1, 4].

Genel olarak killerin kimyasal bileşimleri; % 12-25  $Al_2O_3$ , % 50-78  $SiO_2$ , % 8-25 ise Fe, Na, K ve Mg eşdeğeri ve % 0,6-2,5 organik karbondur. Genleşme esnasında çeşitli minerallerin birbiriyle tepkimesi sonucu  $O_2$ ,  $CO_2$ , CO, OH,  $SO_2$  vb. gazlar ortaya çıkarlar. Genleşme özelliğine sahip killerin hepsi aynı süre içinde genleşmeyebilir. Killerin genleşme özelliğini hızlandırmak için, dizel yağı, bitüm, kireç, pencere camı, demir oksitleri, pirit vb. katkı maddeleri ilave edilir. Genleştirilmiş kil üretiminde döner ve düşey fırınlar kullanılmaktadır [4].

ABD’de genleşen kil veya şeyl üretimi yılda yaklaşık 8-9 milyon  $m^3$  arasındadır. Genleşmiş kil üreten ülkeler “Expanded, Shale Clay ve Slate Institute (ESCSI) adlı bir örgüt kurmuştur [5].

Killerin geliştirilmesinde etkin üç parametre olduğu vurgulanmaktadır; kil tane büyüklüğü, agrega tane büyüklüğü ve agreganın fırında karşılaştığı ilk sıcaklık. Genleştirilmiş kil agregalarının teknik ve fiziksel özelliklerinde önemli farklılık olabilmektedir. Ayrıca, fırın sıcaklığı ve kilin fırında kaldığı süre agrega kalitesi için önemli sonuçlara yol açmaktadır [6].

Killer geliştirilip birim hacim ağırlığı  $0,900 g/cm^3$ ’den küçük olduğu görüldükten sonra, geliştirilmiş kilden hafif agrega üretim araştırmaları hızla kazanmıştır. Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı ve ısı yalıtımı sağlayan hafif beton üretimi amaçlanmaktadır [7-9]. Japonya’da genleşen kil sektöründe X-RD, DTA analizi ile veya doğrudan kimyasal analiz yapılarak kilin genleşmeye uygunluğuna karar verilmektedir [10].

Ponza ve geliştirilmiş kil agregası ile üretilen yapı elemanlarının birim hacim ağırlıkları bir birine yakın iken basınç dayanımları oldukça farklıdır. Ponza ile üretilenin basınç dayanımı  $5 \pm 2,5 MPa$  arasında değişirken, geliştirilmiş kil agregası ile üretilen yapı elemanın dayanımı  $40 \pm 15 MPa$  arasında değişmekte. Devlet Planlama Teşkilatının (DPT) raporunda genleşmiş kil granüllerinin prefabrik konut inşaatları için çok uygun özelliklere sahiptir olduğu vurgulanmaktadır [4, 11].

Genleştirilmiş kil agregası ile normal ve kendiliğinden yerleşen hafif betonla prefabrik yapı elemanı üretilip aşındırıcı gaz ve su etkisine bırakılarak hafif betonun durabilitesi incelenmiştir [12].

Genleştirilmiş kil hamuruna alüminyum A355.0 katılarak kil hamuru içinde bir birinden bağımsız boşluk oluşumu sağlanmıştır. Bu boşluk geliştirilmiş kil agregası içinde bir birinden bağımsız hava habsiciklerinin meydana gelmesiyle yoğunluk düşüşüne yol açmıştır. Bu şekilde üretilen geliştirilmiş hafif kil agregasının

yoğunluğunun  $0,330-0,430 g/cm^3$  ve boşluk oranının % 73 ile 88 olduğu belirlenmiştir [13-15].

Vermikülit, geliştirilmiş kil ve şist gibi agregalarla üretilen betonlar, taşıyıcı hafif beton olarak kullanılırlar. Bunlar önemli ölçüde ısı yalıtım özelliği de sergilerler. Yapılarda ki taşıyıcı hafif beton ölü yükü azalmasının yanı sıra taşıyıcı elemanların, kesitlerde küçülmeden dolayı donatıda ve kullanılan malzemede de bir azalma sağlar. Hafif betonların basınç dayanımı ve elastisite modüllerinin, normal agrega ile üretilen betona göre biraz düşük olduğu bilinmektedir [16].

Arıöz ve ark [17] yaptıkları bir çalışmada; tuğla ve kiremit kiline, ağırlıkça %10 ve 20 oranında albit (sodyum feldspat) flotasyon atığı ilave etmişlerdir. Bu kil karışımını 1000, 1100, 1125, 1200 ve  $1250^\circ C$ ’de ısı işleme tabi tutarak genleşmiş kil agregaları üretmişlerdir. Fakat üretilen agreganın su emme değerleri % 9-17, yoğunlukları  $2,25-2,55 g/cm^3$  olması sebebiyle genleşen kil agregası olabilirliği tartışılmıştır. Çalışmanın özünde aynı zamanda bir atık ürün olan flotasyon atığının değerlendirilmesi hedefi vardır [17, 18].

Genleşmiş kil agregasının yoğunluğunun diğer beton bileşenlerinden düşük olması göz önünde bulundurularak, taze betonda tane ayrışması olabileceği düşüncesiyle hiperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak kendinden yerleşen beton şeklinde değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Dolayısıyla, geliştirilmiş kil agregalarıyla kendiliğinden yerleşen beton üretimi konusunda son yıllarda birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Hafif beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinin cinsleri ve oranlarının yanı sıra geliştirilmiş kil agregalarının yoğunluklarının da önemli olduğu vurgulanmaktadır. Hafif beton karışımlarına giren malzemelerle hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri arasında çok farklılık görülmektedir. Farklı tasarımlarla üretilen betonların basınç dayanımının en az  $37,4 MPa$  en yüksek  $60,8 MPa$  olduğu görülmektedir. İşte bu en düşükle en yüksek arasında 2 kat fark var iken, birim hacim ağırlıkları arasında en düşükle  $0,490 g/cm^3$  ile en yüksek  $1,800 g/cm^3$  arasında 3 katı fark olduğu görülmektedir [19-21].

DPT’nin sekizinci beş yıllık planının geliştirilmiş kil raporunda; “Ülkemizin enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı oluşu ve depreme dayanıklı binalar için hafif yapı malzemelerinin önemi göz önünde tutularak, plan dönemi içerisinde, genleşen kil yataklarımızın aranıp bulunması ve işletmeye hazır hale getirilmesi amacıyla mutlaka ulaşılmalıdır” [4] ifadesi yer almaktadır. Bu raporda belirtildiği gibi; Türkiye deprem bölgesinde olduğu için depreme dayanıklı binalar da hafif yapı malzemelerinin önemi bilinmektedir. Ölü yükü az, basınç dayanımı yüksek taşıyıcı hafif beton geliştirilmiş kil agregası ile sağlanmaktadır. Bunlar göz önünde tutularak, genleşen kil yataklarımızın bulunması aynı zamanda en ekonomik şekilde genleşmiş kil agregası üretimi amacıyla, Ankara-Kalecik Tekebeli mevki killerin genleşebilme yeteneğini sağlayan ısı işlem sıcaklığı ve süresi araştırılmıştır. Ayrıca üretilen genleşmiş kil agregası ile beton dökerek normal agrega ile kıyaslaması yapılacaktır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Araştırmada kullanılan kil Ankara-Çankırı D 140 karayolu 48 km' sinde (Ankara –Kalecik) Tekebeli mevkiinden temin edilmiştir. Kil numunesi alınan yerin koordinatları JPS cihazıyla  $x= 4442111$ ;  $y= 0515560$  şeklinde tespit edilmiştir. Kil rezervi yüzeylenen siyah şistlerin, yer yer gre ve kumtaşı tabakaları ihtiva ettiği gözlenmiştir.



Şekil 1. Kil sahasının ulaşım haritası (clay field of transportation map)

Örneklemede 3000 m<sup>2</sup> lik alanın 3 farklı noktasından yaklaşık 50 cm derinlikten kil numuneleri alınarak laboratuvarda harmanlanmıştır. Ham kil numuneleri elenerek, elek altına geçen malzeme hamur haline getirilerek şekillendirilmiştir. Şekillendirilen farklı boyuttaki ham kil toprakları genişletilerek elde edilen hafif agrega, kırma agrega, çimento, su, filler ve kimyasal katkı maddesi beton bileşenleri olarak belirlenmiş ve bu karışımlarla 10 cm' lik hafif ve kontrol betonları küp numuneler üretilmiştir.

### 2.2.Yöntem (Method)

Ankara, Kalecik-Tekebeli mevkiinden alınan kil, öğütülerek 1 mm elekten geçirilip, elek altı malzeme araştırmada kullanılmıştır. Elek altına geçen kil, macun kıvamına gelinceye kadar su ile karıştırılmış, kil hamuru et kıyma makinesinden 1, 2, 4, 8 ve 16 mm çapında silindirik prizmalar haline getirilmiştir. Sonrasında hamur bıçakla boyu ve çapı eşit olacak şekilde kesilmiş ve hafifçe elle küreselleştirilmiştir. Küreselleştirilen taneler 105 ° C (± 5) de etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Ortam sıcaklığında soğuyan taneler daha sonra sırasıyla 900-950-1000-1050-1100 ve 1150 °C'de ısıtılma (firna aniden sokularak) tabi tutulmuştur.

## 3. AGREGA ÜRETİMİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (AGGREGATE PRODUCTION AND EXPERIMENTAL STUDIES)

### 3.1. Kil Üzerinde Yapılan Çalışmalar (Studies Conducted On The Clay)

Sahadan alınan ham kilin kimyasal (Çizelge 1) ve XRD analizi (Şekil 1) MTA laboratuvarında yapılmıştır.

Şekil 2'de görüldüğü gibi kilde yüksek oranda kuvars minerali bulunmaktadır. Talk mineralinin varlığı, kil hammaddesinin kimyasal analiz raporunda ki Mg O = %

3,23 bulunmasıyla da doğrulanmaktadır. Kildeki grafit, malzemeye siyah rengini vermektedir.

Kil sahasından alınan ham kil numunesi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Beton- Malzeme Laboratuvarına getirilmiştir. Ham kil ve kilden üretilen agrega ve beton üzerinde yapılacak fiziksel ve mekanik testlerin yapılmasında söz konusu laboratuvarдан yararlanılmıştır. Laboratuvara getirilip harmanlanan yaklaşık 350-400 kg ham kil numuneleri öğütülerek 1 mm elekten geçirilmiştir. Elekten geçen ham kil, su ile macun kıvamına getirilmiştir. Macun kıvamına gelen kil hamuru özel modifiye edilmiş et kıyma makinesinden 1, 2, 4, 8 ve 16 mm çapında silindirik prizmalar haline getirilmiştir. Prizma haline getirilen kil hamuru bıçakla boyu ve çapı eşit olacak şekilde kesilmiştir. Bu kesilen silindirik parçalar hafifçe elle küreselleştirilmiştir. Küreselleştirilen taneler 105° C (± 5)' de etüvde 24 saat kurutulmuştur (Şekil 3). Etüv kuru taneler daha sonra sırasıyla 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C, 1200°C ve 1250°C' de şok yöntemiyle 5, 10 ve 15 dakika süre ile ısıtılma tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Kil hammaddesinin kimyasal analizi (The chemical analysis of raw clay)

Kimyasal Bileşim	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Diğerleri
(%)	1,15	3,23	21,60	51,40	4,41	0,7	0,8	7,01	0,4	9,30

d= 14,1627 Smektit ,

d= 9,9887 illit,

d= 9,4127 Talk,

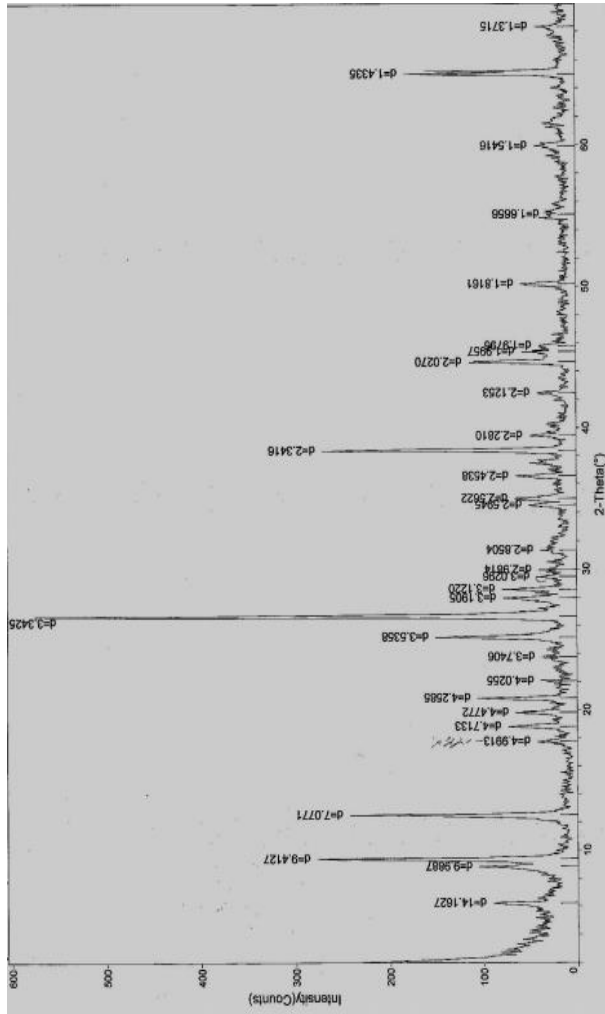
d= 3,3425 Kuvars

d= 3,1905 feldspat,

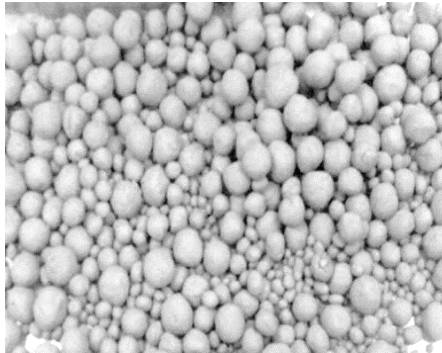
d= 3,1220 Talk,

d= 3,0296 Kalsit,

d= 1,6656 Grafit



Şekil 2. Ham kilin mineralojik analizi ( mineralogical analysis of the raw clay )



Şekil 3. Etüv kurusu kil agregaları ( Oven-dry clay aggregates)

Bu farklı sıcaklıklarda farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulan agregata numuneleri ile deneme üretimi

Çizelge 2. Kil genişirme süreci (Clay expansion process)

Fırın ısısı (° C)	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
Fırında Kalma Süresi ( dak)	5	5	5	5	5	5	5*	5**
	10	10	10	10	10	10*	10**	10**
	15	15	15	15	15	15*	15**	15**

\*Suda batma testinde suda yüzmüştür. Diğerleri batmıştır.

\*\* Kısmi olarak kömürleşme görülmüştür.

yapılmıştır. Deneme üretiminde agreganın suda yüzmesine göre değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre yoğunluğu  $1 \text{ g/cm}^3$  den küçük olan dolayısı ile hacim genişmesi olan agregalar beton üretiminde tercih edilmiştir. Suda yüzme özelliği genişmiş kil agregası karakteri taşımada esas alınmıştır. Çizelge 2' de deneme üretimi için uygulanan sıcaklıklar ve fırında kalma süreleri görülmektedir.

Suda yüzen genişmiş kil agregalarının birim hacim ağırlıkları ve genişleme oranları (hacim artışları) saptanmıştır. Numunelerde  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar çok az genişleme görülmüştür. 5 dakika süre ile  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de işleme tabi tutulan kil agregata numunesinin bu süreç sonunda hacmi yaklaşık olarak 0,85 katı kadar artmıştır. 10 ve 15 dakika ile  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de işleme tabi tutulan kil agregata numunesinin ise ısıl işlem sonrası genişleme oranının sırasıyla 3,2 ve 3,5 kat arttığı belirlenmiştir. Genişen kil agregalarının ısıl işlem sonrası oluşan sinterleşme ve genişmesi iri tanelerde gözle fark edilirken, ince tanelerde bu söz konusu değildir. Numunelerde  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ki ısıl işlem sonrası agregata örneklerinin su emme kapasiteleri ve kompozite değerleri, ASTM C 127-12 [22 ] ve C 128-15[23] standartların da belirtilen esaslara göre belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Ayrıca, agregata tanelerinin dış yüzeyindeki sinterleşme gözle görülür haldedir. Bu dış kabuktaki sinterleşme ve dış yüzey sertliği iri tanelerde daha nettir.  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de ki kil numunesinde 5 dakika sonrasında ki ısıl işlem ile genişleme oranı 3,8'dir. Aynı sıcaklıkta 10 ve 15 dakika süreç ve  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki ısıl işleme tabi tutulan agregata numunelerinde kısmi kömürleşme meydana gelmiştir.



Şekil 4. Genişmiş kil agregaları ve suda batma testi (Expanded clay aggregates and water penetration test)

Genişmiş kil agregalarının soğutulma işlemi sonrasında ki dış kabuktaki genişleme ve sinterleşme durumu açık olarak göz ile görülebilmektedir. Dış yüzeyde sert bir kabuk oluşurken, iç merkeze doğru gidildikçe 1–200

mikron çapında birbirinden bağımsız gözenekler oluşmaktadır. Genleşmiş kil agregalarının genleşerek suda yüzdüğü görülmüştür (Şekil 4).

Genleşmiş kil ve kırma agregaların tane boyutu analizi TS EN 933-1,2012 (EN) [ 24] 'e göre yapılmış ve Çizelge 3' de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Agregaların tane dağılımı ve teknik özellikleri (Particle size distribution and technical properties of aggregates )

Elekler (mm)	Kırma agrega		Hafif agrega	
	İnce agrega (%) geçen	İri agrega (%) geçen	İnce agrega (%) geçen	İri agrega (%) geçen
16	100	99	100	98
8	100	36	100	48
4	95	6	100	2
2	37	0	46	0
1	3	0	5	0
Su emme (%)	1,53	2,61	10,27	17,63
Komposite (%)	76,12	83,54	20,16	18,08
Porozite (%)	23,88	16,46	79,84	81,92
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,68	2,75	0,91	0,97

Yapılan araştırmalarda yaklaşık olarak hafif agregaların su emme değerlerince agregada % 18±2 iken, iri agregada % 28±2 civarlarında olması beklenmektedir [11]. Söz konusu değerler ortalama değerlerdir. Su emme agreganın yüzey şekli, gözenek yapısı, granülometrisi, tane şekline ve yüzey yapısına bağlı olarak değişmektedir. Agregada tanelerinin porozite değeri ya hacimce su emme oranından ya da hacim kütle ve kütlece su emme oranı değerinden hesaplanabilmektedir.

### 3.2. Beton Tasarımı ve Beton Üretimi (Concrete Design and Production)

Beton tasarımında iki agrega grubu, çimento, filler malzeme ve hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton üretiminde geliştirilmiş kil ve kırma agrega tane grupları 1-4 mm ve 4-16 mm olarak seçilmiştir. Bağlayıcı bileşen CEM I 42,5 R çimentosudur. Filler(dolgu) malzeme olarak, yoğunluğu 2,83 g/cm<sup>3</sup> ve tane boyutu 0-1 mm olan mermer tozu kullanılmıştır. Filler malzemesinin % 98'i 1mm'lik elekten geçmiştir. Filler malzemesinin kimyasala analizi Ankara LİMAK çimento fabrikasında yaptırılmış ve Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Çimento ve fillerin kimyasal analizi (The chemical analysis of cement and marble powder )

Kimyasal Bileşim	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	D.leri	K.K
CEM I 42,5 N (%)	21,08	5,36	3,64	62,38	2	0,82	0,5	2	1,32	0,90
Filler(%)	5,72	-	0,03	53,23	0,25	-	-	-	0,19	40,58

Yoğunluğu 1,149 g/cm<sup>3</sup>, pH'ı 7,39 olan akışkanlandırıcı kimyasal katkı maddesi çimento dozajının % 1,5'i oranında kullanılmıştır.

Kendiliğinden yerleşen betonun yayılma kıvamı 550 mm olarak seçilmiştir [25]. C30/37 kontrol beton sınıfı için karışım TS 802 'ye göre hesaplanmıştır [26]. Hafif ve kontrol betonunun 1 m<sup>3</sup> için karışıma girecek malzeme

miktarları Çizelge 5' te verilmiştir. Görüldüğü gibi karışımda sadece agrega miktarı değiştirilmiştir. Hafif ve kontrol betonunun arasındaki değişken sadece agregalardır. Bu değişkene bağlı olarak agreganın beton üzerindeki etkisi incelenmiştir.

**Çizelge 5.** Malzeme karışım oranları (Material mixing ratios)

Malzemeler	Kontrol Beton	Hafif Beton
Çimento (kg)	400	400
Su (dm <sup>3</sup> )	220	220
İnce agrega (1-4) (kg)	920	591
İri agrega (4-16) (kg)	613	413
Filler (0-1 mm) (kg)	175	175
Kimyasal katkı (% 1,5) (kg)	6	6

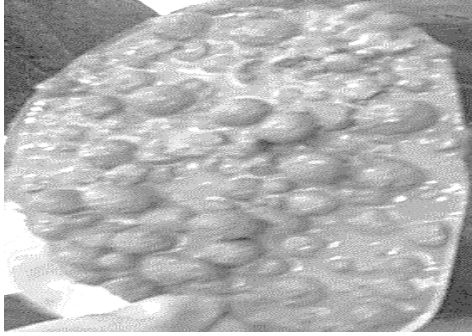
Betonun basınç dayanımları için üç adet 100mm'lik küp örnek hazırlanıp TS EN 12390-3 [ 27]'e göre test edilmişlerdir.

Kontrol ve hafif betonda, hiperakışkanlaştırıcı katkının kohezyonunu arttırmak ve segregasyonunu (ayırışma) önlemek için filler kullanılmıştır. Ayrıca, çok ince taneler beton iç yapısındaki mikro gözenekleri doldurarak kompositeyi artırılabilceği düşünülmüştür.

İri ve ince agregası geliştirilmiş kil agregasıyla 400 dozajlı ve %1,5 oranında hiperakışkanlaştırıcı katkı

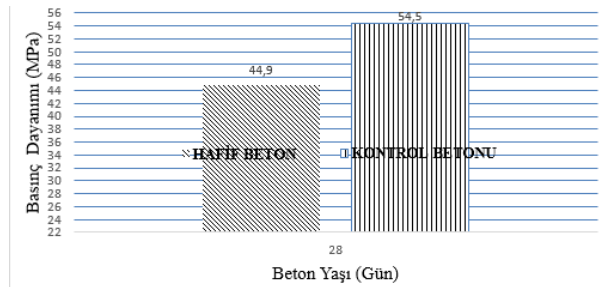
kullanılarak yapılan taze betonun görünümü Şekil 4'te dir. Taze betonun yayılma kıvamı ortalama olarak 520 mm olurken hafif betonun birim hacim ağırlığı 1,900 g/cm<sup>3</sup> kontrol betonunun birim hacim ağırlığı 2,500 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.





Şekil 5. Kil agregası ile üretilmiş taze betonun görünümü (Fresh concrete produced with clay aggregate)

Sertleşmiş betonun 28 gün basınç dayanımının aritmetik ortalamalarının basınç dayanımı- yaş ilişkisi Şekil 6’te görülmektedir. Buradan, kontrol betonunda olduğu gibi beton yaşı arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Kontrol betonu ile geliştirilmiş kil agregası ile üretilen hafif betonun basınç dayanımı karşılaştırıldığında 28 günlük basınç dayanımının sırasıyla % 17 daha düşük olduğu görülmüştür. Sertleşmiş betonun 28 günlük birim hacim ağırlıklarının kontrol betonunda  $2,400 \text{ g/cm}^3$  iken hafif betonda  $1,492 \text{ g/cm}^3$  oldukları bulunmuştur. Her iki betonun birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında hafif betondaki değer yaklaşık % 36 daha düşük olduğu görülmektedir. Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun basınç dayanım testi sonrası kopan parçalarda kırılmaların agregalardan olduğu ve çimento pastasıyla dış yüzeyinin yapışmasının iyi olduğu görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Sertleşmiş hafif betonun iç görünümü (Interior view of the hardened light weight concrete)

Genleşmiş kil agregasının dış yüzey sinterleşmesi sayesinde sertliğin artırılarak agreganın daha yüksek mukavemete erişiminin mümkün olacağı düşünülmektedir. Çünkü daha sert dış kabuğun agrega ve beton basıncına dayanmasına olumlu etkisi literatürde belirtilmektedir.

Genleşmiş kil agregalarının yoğunlukları düşük olduğundan, çok katlı yapılarda ve asma köprü tabliyelerinde kullanılmaları ölü yük açısından büyük avantaj sağlayacaktır. Genleştirilmiş kil agregalarının yüzey şeklinin küresel olmasının yüksek kompasite ve hazır beton için de pompalardan kolay akış imkânı getirecektir.

Deprem ve yangına karşı dayanıklı yapılar söz konusu olduğunda istenilen binalarda genleşmiş kil agregası kullanımı göz önüne alınmalıdır. Genleşen kil agregalarla birim hacim ağırlığı düşük basınç dayanımı yüksek hafif yapı malzemesi üretilmesi yapı ve yapı elamanlarının ölü yüklerini azalttığı gibi gözenekli agrega yapısı sayesinde ısı yalıtımı açısından büyük avantaj sağlayacaktır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- ✓ Ankara-Kalecik-Tekebeli mevkiinden elde edilen killerin laboratuvar çalışmaları sonucunda  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 10 ve 15 dakika süre ile pişirilmesi sonucunda genleşebilen kil agregası üretilebileceği görülmüştür.
- ✓ Genleşen killerin  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  de 10 dakika ısıtım işlemi sonrası iri agreganın yoğunluğu  $1.630 \text{ g/cm}^3$  olarak saptanmış ancak suya battığı görülmüştür.
- ✓  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$  de 10 dakika ısıtım işlemi tabii tutulan agregalarda genleşme oranı % 3, 2 kat artmıştır. Aynı zamanda yoğunluk  $0.970 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuş ve suda yüzme sağlanmıştır.
- ✓  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$  de 15 dakika ısıtım işlemi tabii tutulan agregalarda genleşme oranı % 3, 5 kat artmıştır. Bu hacim artışını sağlayan agregaların yoğunlukları  $0,950 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuş ve suda yüzmesi söz konusudur.
- ✓ Genleştirilmiş kil agregası kullanımıyla yapılan betonun taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları yaklaşık  $1,900 \text{ g/cm}^3$  ve  $1,492 \text{ g/cm}^3$  civarındadır.
- ✓ Genleştirilmiş kil agregalarıyla üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımı  $44,9 \text{ MPa}$  olarak bulunmuştur.
- ✓ Kontrol betonun taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları yaklaşık  $2,500 \text{ g/cm}^3$  ve  $2,400 \text{ g/cm}^3$  civarındadır. Ayrıca kontrol betonun 28 günlük basınç dayanımı  $54,5 \text{ MPa}$  olarak bulunmuştur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Kıral N. “Genleşen kil aramaları”, *MTA Raporu*, 1-25, (2002).
2. Akyürek B. “Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi”, *MTA Ens. Derleme*, 7298: 5-30, (1982).
3. Özgüven A. “Genleşen kil agrega üretimi ve endüstriyel olarak değerlendirilmesi”, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, (2009).
4. Seyhan İ., “Genleşen killer”, DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Ponza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu *DPT: 2617 - ÖİK: 628*, 69-72, Ankara, (2001).
5. <http://www.soci.org/>. “The Manufacture and Uses of Expanded Clay Aggregate”, Xavier Kestemont, *Argex*. Thursday 15 November SCI HQ, London, (2012).
6. Özgüven A. and Gündüz L., “Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate”, *Cement & Concrete Composites*, 34, 781–787, (2012).
7. <http://www.laterlite.com/products/laterlite-plus-expanded-clay/> tarih (2.09.2015)
8. Schmidt H., “Blähton-stoffliche voraussetzung, ignungsuntersuchungen und keramische bindung” , *Handbuchder Keramik*, Freiburg, (1984).
9. Kromer H. and Potshigmann, W., **Blähton, Handbuchder Keramik**, Gruppe II M, VerlagSchmid. GmbH. Freiburg, (1977).
10. Fujii, N. Sudo, S. and Kuriyama, M., “An outline of expanded shale resources in japan”, *Bull. Geol. Survey of Japan*, 29: 217–232, (1978).
11. Gündüz L., Bekar M. and Şapcı N., “Genleşen killerin doğal yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi”, *Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu*, Denizli, 465-476, (2006).
12. Hubertová M. and Hela R., “durability of lightweight expanded clay aggregate concrete”, *Procedia Engineering*, 6(5): 2 – 6, (2013).
13. Bazzaz Bonabi S., et al. “Fabrication of metallic composite foam using ceramic porous spheres-light expanded clay aggregate via casting process”, *Materials and Design*, 64: 310–315, (2014).
14. Boudaghpour S. and Hashemi S.,H., “A study on light expended clay aggregate (leca) in a geotechnical view and its application on greenhouse and green roof cultivation”, *International Journal of Geology*, 4(2): 59-63, (2008).
15. Arioz O., et al. “a preliminary research on the properties of lightweight expanded clay aggregate”, *J Aust Ceram Soc*, 44: 23–30, (2008).
16. Şimşek O., “Beton ve beton teknolojisi, (çeşitleri- özellikleri- deneyleri). gözden geçirilmiş 5. baskı”, *Seçkin Yayıncılık A.Ş.*, Ankara, (2016).
17. Arıöz Ö., et al., “Kömür kullanarak geliştirilmiş kil agregası üretimi”, *IV. Uluslar Arası Katılımlı, Seramik, Cam, Emaye Sır Ve Boya Semineri*, 1054-1062, (2007).
18. Bogas J. A., et al. “Self-compacting light weight concrete produced with expanded clay aggregate”, *Construction and Building Materials*, 35, 1013–1022, (2012).
19. Hubertová M., and Hela R., “Durability of light weight expanded clay aggregate concrete”, Concrete and Concrete Structures 2013 Conference, *Procedia Engineering*, 65: 2 – 6, (2013).
20. Gündüz L., Şapcı N., Bekar M., ve Yorgun S., “Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği”, *Kibited* 1(2): 43 – 49, (2006).
21. Wu, Z.,Zhang, Y., Zheng, J. And Ding, Y., “An experimental study on the workability of self-compacting light weight concrete”, *Construction and Building Materials*, 23(5): 2087–2092, (2009).
22. ASTM C 127-12. “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate”, *ASTM Current Edition Approved April 1*, (2012).
23. ASTM C 128-15. “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”, *ASTM Current Edition Approved Jan. 1*, (2015).
24. TS EN 933-1, 2012 (EN) “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımı tayini- eleme metodu”, *TSE*, Ankara, 1-10, (2012).
25. “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specificatio Production and Use”, *Self Compacting Concrete European Project Group*, Germany, 10-25, (2005).
26. TS 802, “Beton Karışım Hesapları”, *TSE*, 4-19, (2016).
27. TS EN 12390–3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, *TSE*, 1–12, (2010).