

GENLEŞMİŞ KİL AGREGALARIN TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ANKARA KALECİK BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Lütfullah Gündüz¹, Şevket Onur Kalkan², Ahmet Özgüven³

Özet

Genleşmiş kil agregaları Avrupa ve ABD’de, özellikle yapı sektöründe, hafif yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan vazgeçilmez bir ana ham maddedir. Ülkemiz, genleşen kil rezervleri açısından oldukça önemli sayılabilecek bir potansiyele sahip olmasına rağmen endüstriyel anlamda bir yatırım görülmemektedir. Bu çalışmada da genleşen kil olarak değerlendirilebilecek en önemli sahalardan biri olan Ankara-Kalecik kil sahasının detaylı arazi ve laboratuvar çalışmaları ile endüstriye kazandırılması amaçlanmıştır. Katkısız genleştirme deneyleri sonucunda agrega birim hacim ağırlığı 291 kg/m³, genleşme oranı 6,3 olan çok kaliteli bir genleşmiş kil agregası üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

1. GİRİŞ

Hafif genleşmiş killer, killerin döner fırınlarda 1200°C civarında ısıtma işlemi ile elde edilen hafif agregalardır. Genleşmiş killer ısı ile işlem gördükleri zaman gaz çıkışının bir sonucu olarak kendi hacimlerinin 5-6 katı kadar genişleyebilir. Isıtma işlemi süresince bünyedeki gazlar binlerce küçük kabarcıklar oluşturarak kili genleştirmektedir ve bal peteği yapısı oluşturmaktadır. Genleşmiş killer döner fırınların dairesel hareketi neticesi ile genellikle yuvarlak veya patates şeklindedir ve farklı boyutlarda ve farklı birim ağırlıklarda elde edilebilir. Dış yüzeyde sert sinterlenmiş bir kabuk oluşturulurken, iç tarafında oldukça hafif, son derece dayanıklı ve gözenekli klinker benzeri bir yapı oluşturulmaktadır. Hafif genleşmiş kil agrega pek çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. En yay-

gın olarak kullanılan alanlardan biri mühendislik uygulamalarında hafif beton üretimidir. Düşük birim hacim ağırlığı, su iticiliği, yüksek ısı yalıtımı, yüksek agrega basınç dayanımı, çimento ile iyi bağ yeteneği vb. özellikleri sebebiyle inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımları daha fazla yoğun-

luk kazanmaktadır. Dünyada çok sayıda genleşmiş kil üretimleri görülebilir. Türkiye için geliştirilmiş kil agrega üretimi yeni bir konu olarak görülmektedir. Geçmişte bazı çalışmalar gerçekleştirilmişse de, genleşmiş agregaların teknik özellikleri yeteri kadar değerlendirilmiş bir tartışma konusu olamamıştır. Dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de şu anda genleşmiş kil üretimi yapılabilir potansiyelde rezervlerden söz edilebilmektedir. Bu rezervlerin en önemli potansiyelinin biri Ankara Kalecik Bölgesi’nde yer almaktadır. Bu rezervlerden üretilebilir olan genleşmiş kil agrega performansları ve teknik özellikleri detaylı incelenmesi gereken önemli bir konudur. Agregada birim ağırlığı, su emme kapasitesi, agrega dayanımı, gözeneklilik, ısı iletkenlik, su buharı difüzyon katsayısı

gibi detaylı teknik araştırmaların irdelendiği Ankara Kalecik Bölgesi genleşmiş kili üzerine bir araştırma çalışması devam etmektedir. Bu bildiride Ankara Kalecik Bölgesi’nden temin edilen kil örneklerinin genleşen kil agrega olarak teknik özellikleri ve performansları, özellikle inşaat mühendisliği uygulamalarında hafif agrega olarak kullanılmaları değerlendirilmiştir. Ankara Kalecik Bölgesi kilinin farklı mikron tane boyutlarında geliştirilmesiyle elde edilen yapısal, fiziksel ve ısı iletkenlik özelliklerinin ayrıntıları karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır.

A Research on The Comparison of Technical Properties for Expanded Clay Aggregates: Sample of Ankara Kalecik Region

Expanded clay aggregates, used in the production of lightweight aggregate elements, are indispensable raw materials particularly in building sector in Europe and USA. Although Turkey has notable potential of expanding clay reserves, there is no visible industrial investment in expanding clays. In this study, it is aimed to introduce the Ankara-Kalecik clay field, a potentially important expanding clay field, to industry by showing detailed field and laboratory studies. As a result of pure expansion experiments, it is revealed that a very qualified an expanding clay aggregate, with the 291 kg/m³ unit weight and 6,3 expansion ratio, is possible to produce.

1) lutfullah.gunduz@ikcu.edu.tr 2) sevetonur.kalkani@kcu.edu.tr, Prof. Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir 3) ahmet.ozguven@mta.gov.tr, Dr. Yük. Müh., MTA, Ankara

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi’nde sunulmuştur.

2. GENLEŞEN KİLLER

Sinterleşme süreci çabuk olan ve 1100-1300°C dereceleri arasında belirli bir hacim artışına uğrayan kil, killi şist ve şeyllere, genel olarak genleşen killeri adı verilmektedir. Genleştirilmiş kil için kullanılan yaygın ham maddeler; erken sinterleşen kil, kumlu kil (Lem, mil), killi şist ve şifertondur. Bunlar mineralojik olarak illit, serizit ve montmorillonit gibi tabakalı silikatlardan meydana gelir. Bazı hâllerde bir miktar kaolinit ve klorit ile değişen miktarlarda kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve limonit ihtiva eder [1, 2]. 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. İç kısımda ise, malzeme bünyesinde bulunan gazların bünyeyi terk etmesi nedeniyle, homojen, kapalı ve küçük boşluklar hâlinde hücreler ihtiva eden bir yapı meydana gelmektedir. Bu oluşum, inşaat sektöründe hafif yapı elemanlarının üretiminde hafif agrega malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir [3]. Genleştirilmiş kil, hafif yapı malzemelerinin basınç mukavemeti en yüksek olanlarından biridir. Avrupa'da aktuel deniz dibi killeri ile acı su killeri, rüzgâr erozyonuna bağlı Lös killeri, Jura killeri, Devonien yaşlı killi şistler ve şifertonlar teknik bakımdan değerlendirilebilecek ölçüde genleşme özelliğine sahip ham maddeler olarak tespit edilmiştir. Bunların SiO₂ oranı %48-69, Al₂O₃ oranı %15-22, Fe₂O₃ oranı %5-10, CaO+MgO oranı %3-7, Alkali oranı %3-6 ve ateş zayıfatı %5-15 arasında değişmektedir. Bazı kil ve killi şistlerin genleşme özellikleri 1885 yılından beri bilinmektedir. İnşaatla kullanılabilen ilk genleşmiş kil granüllerinin 1918 yılında ABD'de HAYDE tarafından bir döner fırında üretildiği bilinmektedir [4, 5]. Genleşen killeri pişme sırasında önemli ölçüde hacim artışı gösterirler. Sinter kabuğu oluşurken aynı anda iç kesimde de gaz oluşumu başlamalıdır. Bu gazlar viskoz hâle gelen maddeyi şişirerek genleştirir. Genleşmenin geciktiği durumlarda dizel yağı, bitüm-kömür, kok, alçı, pirit, limonit, kireç gibi eritken maddeler katılmalıdır [6, 5]. Killerdeki genleşmeyi sağlayan temel unsurlar şunlardır[6]: *Yüksek plastisite ve 2 mikrondan küçük tane oranı değeri en az %35`tir, Özellikle illit, serisit, demirli klorit ve mika grubu silikatlar bulunmalı, yapıda %5` ten az karbonat olmalı, %5-10 arasında demir oksit bulunmalı, %0.5-2.5 arasında organik karbon bulunmalı, %12-25 Al₂O₃ organik karbon bulunmalı, %50-78 SiO₂ organik karbon bulunmalı, bileşenlerin sinterleşme oranı birbirlerine yakın ve 1200°C derece civarında olmalı, kumlu bileşenler minimum miktarlarda olmalıdır.* Ayrıca killerde genleşmeyi artırmak ve hızlandırmak için dizel yağı, bitüm, kömür, kok, alçı, karbon, lignum sülfat, demir oksit, pirit, pencere camı, kireç ve kırmızı çamur katılmaktadır [6].

3. ANKARA-KALECİK GENLEŞMİŞ KİL HAFİF AGREGA ÜRETİMİ

Ankara-Kalecik kil sahasını genleşmiş kil agregası üretiminde değerlendirebilmek için öncelikle bir dizi arazi çalışması yapılmış olup, sahayı temsil edecek şekilde numuneler alınarak laboratuvar ortamında mineralojik ve kimyasal analizlerle birlikte genleştirme deneyleri yapılmıştır. Kalecik Bölgesi'nde yayılım sunan Karakaya Formasyonu; alttan üste doğru metamorfizması gittikçe azalan, ilksel hâlini kısmen koruyan ve/veya yeşil şist fasiyesi içinde metamorfizma geçirmiş konglomera, kum taşı, şeyl, kumlu kireçtaşı, kireç taşı ile volkarenit, aglomera, volkanit, tüften oluşur. Fliş karakterli kaya türleri belirgindir [7, 8]. Kalecik bölgesinde genleşen kil potansiyeli özellikle Teke Beli mevkinde geniş bir yayılım sunar. Renği siyah, gri, koyu gri olup organik maddece zengindir. Yaşı Alt, Orta-Üst Triyas olarak kabul edilmiştir. Bu zon 750-1000 m uzunluk, 20-25 m kalınlık değerine sahip olduğu gözlenmiştir. İncelenen ham maddenin kimyasal bileşimi, içerdiği bileşikler, uçucu madde oranları kilin genleşmesini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır [8]. Bunun için çalışma sahasından alınan numunelerin kimyasal analizi XRF Spektrometrometrik yöntem ile yapılmış olup, bulgular Çizelge 1'de verilmiştir. Genleşmenin sağlanabilmesi için kilin bünyesinde bulunan bileşimler ile hem piroplastik form hem de gaz oluşturulabilmelidir [7]. Burada kilin genleşme sıcaklığındaki viskozitesi çok önem kazanmaktadır. Pavlov (1960) [9] en uygun viskoziteyi elde edebilmek için gerekli iki şartı şu şekilde açıklamaktadır; [SiO₂/Eriticiler] oranı ≤ 4 olmalıdır. Daha düşük oran ile daha fazla genleşme sağlanabilir ve ayrıca Fe₂O₃+MgO+Na₂O+K₂O toplamının CaO'e oranı 4'ten fazla olmalıdır.

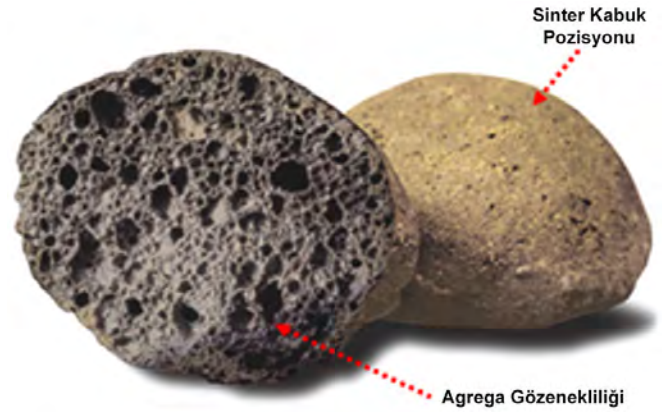
Çizelge 1. Kimyasal analiz sonuçları [7]

Bileşim	%
Na ₂ O	0.98
MgO	2.54
Al ₂ O ₃	18.16
SiO ₂	56.11
P ₂ O ₅	0.16
K ₂ O	3.73
CaO	3.04
TiO ₂	0.70
MnO	0.19
Fe ₂ O ₃	6.89

Pavlov (1960)'un [9] uygun viskozite şartları ile incelenen kilin kimyasal analiz değerleri karşılaştırıldığında $[\text{SiO}_2/\text{Eriticiler}]$ oranı 3.27; $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ toplamının CaO 'e oranı ise 4.65 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre kilin istenilen kimyasal bileşimleri sağladığı görülmektedir [7]. Genleşmiş kil agregası üretimini optimize edebilmek için günümüze değin genleşmiş agregası üretimleri üzerine yapılmış tecrübelerden elde edilen genel parametrik faktörler genel olarak şu şekilde tanımlanabilmektedir [8]; *Ham madde olarak kullanılan ve pelet yapılacak kilin tane boyutu, genleştirme işlemi için pelet boyutu, uygun olan genleştirme sıcaklığı, genleştirme süresi, genleştirme maliyeti*. Bu çalışma kapsamında, laboratuvar ortamında Ankara-Kalecik Bölgesi ham kil örnekleri öğütülerek öncelikle mikronize boyut olarak kabul edilebilecek 5 ayrı boyut fraksiyonuna sınıflandırılmıştır: 63 μm , 125 μm , 250 μm , 425 μm ve 500 μm . Her bir kil boyutu kullanılarak 5 mm ve 10 mm çapında kil ham peletleri herhangi bir genleştirici ajan ve katkı malzemesi katılmaksızın yalnızca su ilavesiyle silindirik geometrili peletler hazırlanmış ve ham peletler genleştirme işlemi öncesi nem kontrollü bir etüvde kurutulmuştur. Her bir kil boyutunda hazırlanan pelet örnekleri sıcaklık kontrollü $\pm 5^\circ\text{C}$ hassasiyetli bir kül fırınında 900°C - 1200°C sıcaklık aralığında ortalama 40°C sıcaklık artırım değeri uygulanarak ve ayrı ayrı 5, 7, 10 ve 15 dakikalık genleştirme sürelerine maruz bırakılarak genleştirme işlemleri yapılmıştır (Şekil 1). Çalışma kapsamında genleştirme işlemi sonucu elde edilen her bir agreganın genleşme oranı, birim hacim kütle değeri, agregası çevresinde oluşan sinter kabuk pozisyonu, agregası gözenekliliği (Şekil 2) ve agreganın kullanım alanına uygunluğu gibi teknik özellikler irdelenmiştir.

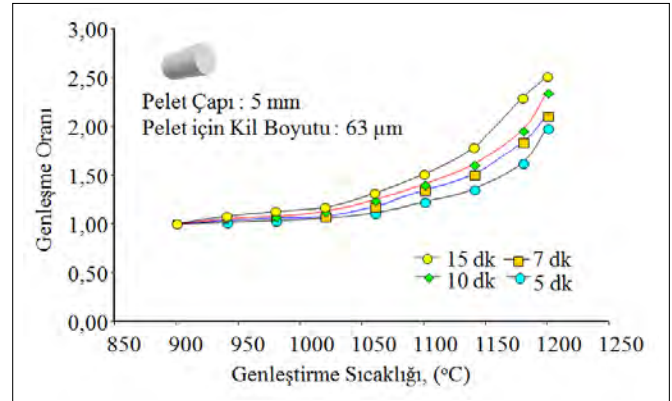


Şekil 1. Ham pelet ve genleştirilmiş agreganın görünümü.

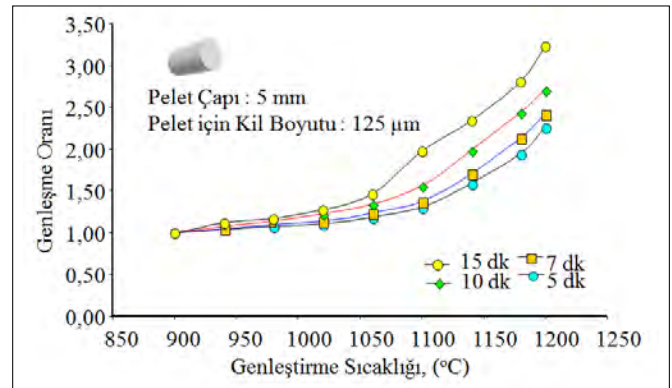


Şekil. 2 Genleşmiş kil agreganın sinter kabuk ve gözeneklilik olgusu.

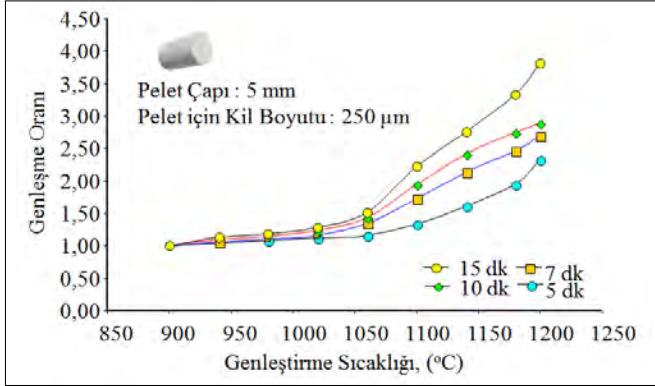
5 mm pelet çapında hazırlanmış örneklerin genleştirme sıcaklığı etkisinde 5-15 dakika periyotlu genleştirme süresine maruz bırakılarak genleşme oranları deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada agreganın genleşme oranı, pelet birim hacim kütle değerinin genleşme sonrası genleşmiş agreganın birim hacim kütle değerine oranı olarak tanımlanmıştır. Buna göre 63 μm , 125 μm , 250 μm , 425 μm ve 500 μm kil boyutlarındaki 5 mm çaplı peletlerin genleşme özelliği Şekil 3-Şekil 7'de verilmiştir.



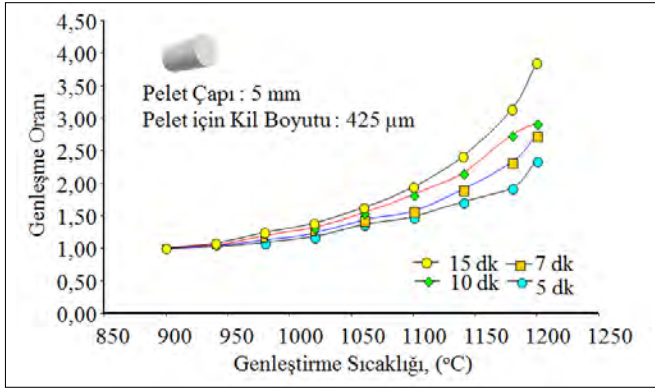
Şekil 3. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (63µm kil boyutu)



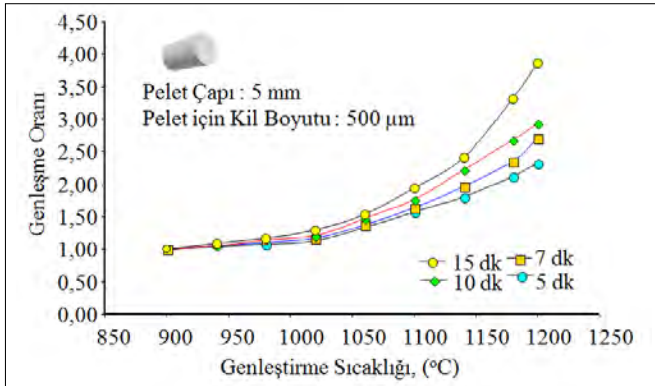
Şekil 4. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (125µm kil boyutu)



Şekil 5. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (250 µm kil boyutu)



Şekil 6. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (425 µm kil boyutu).



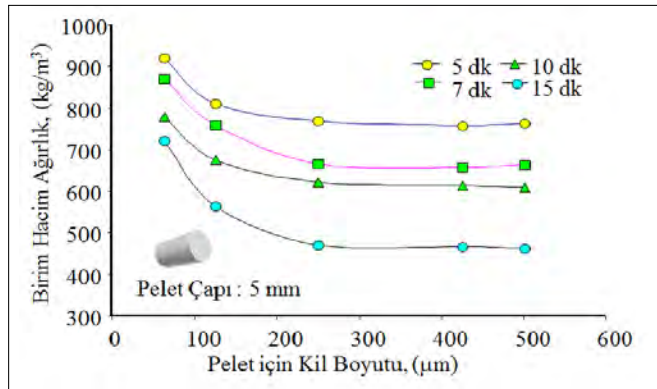
Şekil 7. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (500 µm kil boyutu).

Şekil 3 - Şekil 7 irdelendiğinde, her bir kil tane boyutunda genleştirme sıcaklığı artışı, peletin genleşme karakteristiğinde de belirgin bir artış gözlenmektedir. Ayrıca, peletlerin sıcaklığa maruz kalma süreleri de üretimde önemli bir etken parametre olup, süre arttıkça genleşme oranı da önemli oranda artmaktadır. 63 µm kil boyutlu peletlerin ortalama 980°C sıcaklık değerinden sonra genleşme karakteristiği gösterdi-

ği belirlenmiş olup, bu genleşme olgusunun 1060°C sıcaklık değeri ile birlikte daha da belirginleştiği gözlenmiştir. 63 µm kil boyutlu peletlerin 5 dakika genleşme süresi sonunda genleşme oranı ortalama 1.98 iken, bu oran 7, 10 ve 15 dakikalık genleşme süreleri sonunda ise sırasıyla 2.11, 2.35 ve 2.51 olarak belirlenmiştir. Benzer karakteristik 125 µm kil boyutlu peletler için de tespit edilmiş olup, ilk genleşme sıcaklığı ortalama 1000°C sıcaklık değerinde başlayıp 1050°C sıcaklık değerinden sonra daha da belirginleştiği gözlenmiştir. 125 µm kil boyutlu peletlerin 5 dakika genleşme süresi sonunda genleşme oranı ortalama 2.26 iken, bu oran 7, 10 ve 15 dakikalık genleşme süreleri sonunda ise sırasıyla 2.42, 2.71 ve 3.23 olarak belirlenmiştir. Kil tane boyutunun 250 µm olması durumunda ise agregaların genleşme karakteristiği 125 µm kil boyutlu peletlere göre ortalama %18'lik ilave genleşme artışı sergilediği görülmüştür. Kil tane boyutunun 425 µm ve 500 µm değerlerinde ise bu trendin ortalama %1'lik ilave genleşme artışı ile değer bulduğu görülmüştür. Kil tane boyutu arttıkça bu pelet çapı test örnekleri için ilk genleşme sıcaklığının göreceli olarak düşüğü ve 950°C değerine kadar ulaştığı da görülebilmektedir. Kil tane boyutu arttıkça elde edilen peletlerin aynı genleşme sıcaklığı ve eş değer genleşme süresine maruz kaldığı durumlar için genleşme karakteristiğinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. 5 mm pelet çapı örnekleri için daha iyi bir genleştirme elde edebilmek amacıyla kil tane boyutunun büyük olması avantaj sağlamaktadır. Genleştirme işlemi yapılmış kil agregası örneklerinin inşaat sektöründe kullanım yeri açısından başlıca iki önemli parametresi genleşmiş agreganın proseste oluşan sert ve piroplastik sinter kabuk formu ve agregası için gözenekliliğine bağlı olarak elde edilen agregası birim hacim kütle değeridir. Her bir genleşmiş agreganın genleşme işlemi sonrası oluşan piroplastik sinter kabuk formu irdelenmiş olup, kil tane boyutu arttıkça oluşan sinter kabuğun daha zayıf, ince katman şeklinde ve göreceli olarak yer yer çatlaklı bir yüzey formu oluşturduğu gözlenmiştir. Kil tane boyutu düşüldüğünde ise, daha kompakt bir yapı sergileyen ve kısmen kalın ve bütünlük bir sinter kabuk formunun oluştuğu görülmektedir (Şekil 8). Piroplastik sinter kabuğun kompakt yapısı, agreganın daha geçirimsiz ve daha yüksek mukavemet sergileyebilecek potansiyelini oluşturmaktadır. Bu tarz agregası formları sektörde yarı taşıyıcı ve taşıyıcı beton elemanlarının üretiminde değerlendirilebilecek özellikler taşımaktadır. Sinter kabuğun zayıf bir form sergilemesi, diğer taraftan, agreganın düşük yoğunluklu ve düşük mukavemette beton elemanların üretiminde kullanılabilecek bir karakteristiği temsil etmektedir. Bu olgu, benzer şekilde genleşmiş agreganın birim hacim kütle değeri ile de doğru orantılı olarak değişim sergilemektedir. Bu bağlamda 5 mm çaplı peletler için elde edilen maksimum genleşme oranları dikkate alındığında kil tane boyutunun farklı değerleri için agregaların birim hacim kütle değerleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular Şekil 9'da verilmiştir.



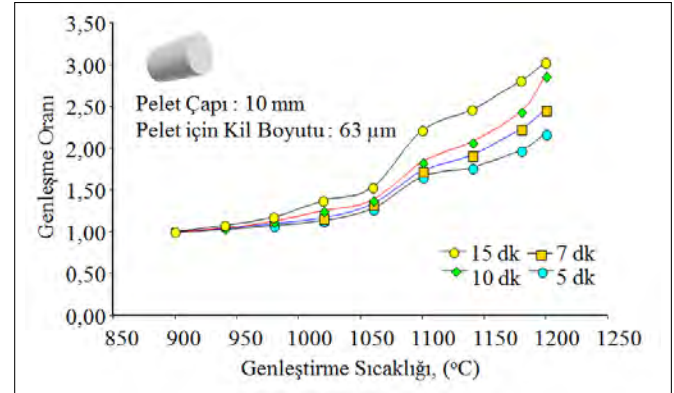
Şekil 8. Genleşmiş agregalar için farklı piroplastik sinter kabuk formları.



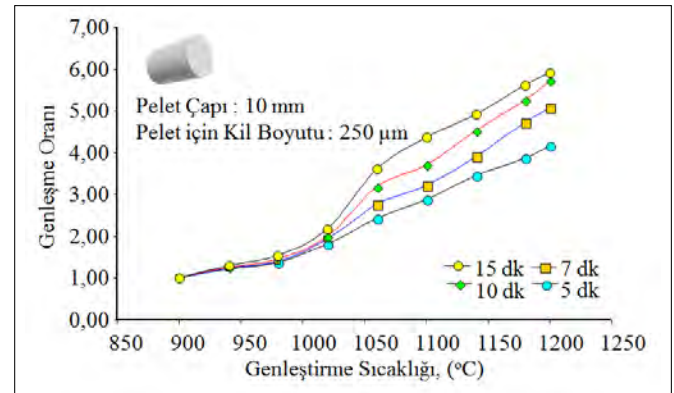
Şekil 9. Kil tane boyutu - agregalar için birim hacim ağırlık ilişkisi (5 mm pelet çapı).

Şekil 9 irdelendiğinde, genleşmiş agregaların birim hacim ağırlıkları 464 - 921 kg/m³ aralığında değişim göstermektedir. Eş değer kil tane boyutunda elde edilen peletlerin artan genleşme sürelerinde agregalar için birim hacim ağırlık değerlerinin düştüğü ve daha hafif ve daha gözenekli bir agregalar elde edildiği görülmüştür. Genleşme sonrası agregalar için birim ağırlığının düşük olması için, kil boyutunun artışına paralel olarak eş zamanlı olarak genleşme sıcaklığına maruz kalma süresinin de artma eğilimi göstermesi gerekmektedir. Proseste her bir pelet hamuru karışımı için hedeflenen agregalar için teknik spektreleri açısından deneysel bazda genleşme ortamı koşullarının ve pelet fiziksel büyüklüklerinin mutlak optimizasyonu yapılması gerekmektedir. İdeal olabilecek teknik parametreler her bir genleşme üretim mekanizması için belirlenmelidir. Genleşme işlemi sonrası agregalar için birim ağırlık değerleri dikkate alındığında, 600 kg/m³ - 900 kg/m³ değerleri arasındaki agregalar malzemelerin gözeneklilik yapısı ve sinter kabuk formları itibarıyla sektörel kullanımda yarı taşıyıcı yapı elemanlarının üretimlerinde kullanılabilecektir. Bununla birlikte 900 kg/m³ ve üzeri birim ağırlık değeri olan genleşmiş agregaların ise taşıyıcı amaçlı beton elemanların üretiminde kullanılabilecek özellikler taşıdığı gözlenmiştir. Çalışma kapsamında irdelenen bir diğer pelet çapı ise 10 mm'dir. Bu pelet çapı için de 5 mm'lik pelet uygulamasında deneysel olarak yürütülmüş tüm test ve irdemeler bir karşılaştırma kriteri bağlamında ben-

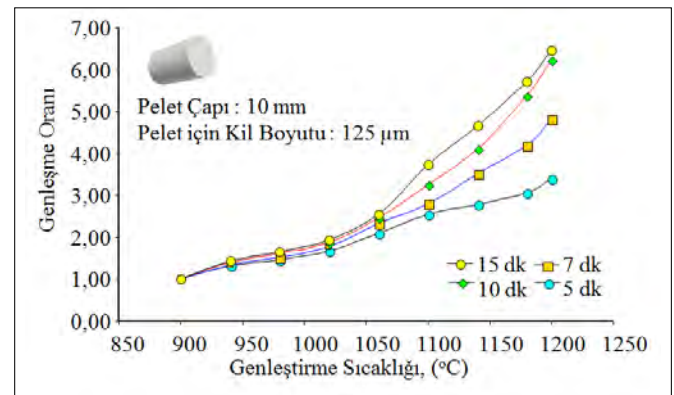
zer şekilde uygulanmıştır. 63 µm, 125 µm, 250 µm, 425 µm ve 500 µm kil boyutlarındaki 10 mm çaplı pelet örneklerinin genleşme karakteristiği Şekil 10-Şekil 14'te verilmiştir.



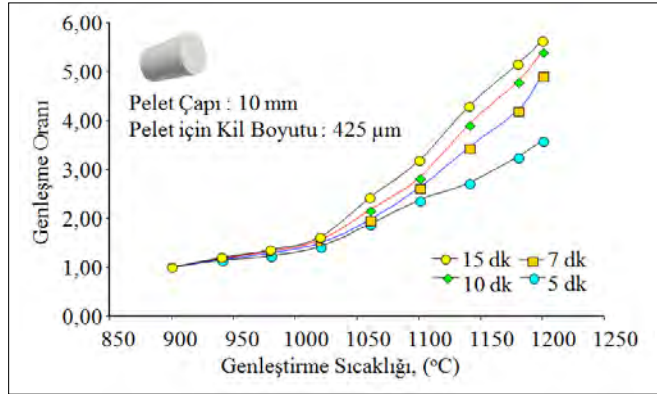
Şekil 10. Genleşme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (63 µm kil boyutu).



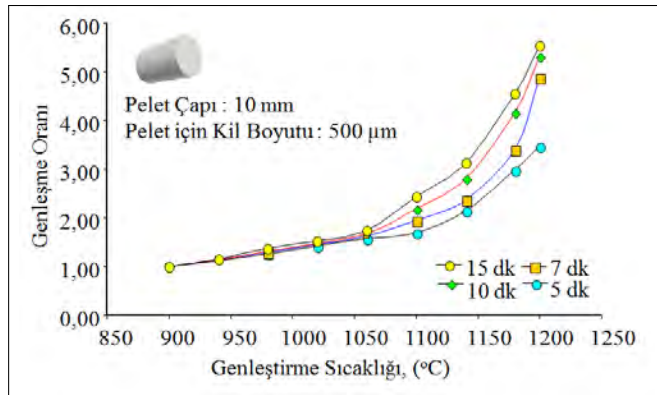
Şekil 12. Genleşme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (250 µm kil boyutu).



Şekil 11. Genleşme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (125 µm kil boyutu).



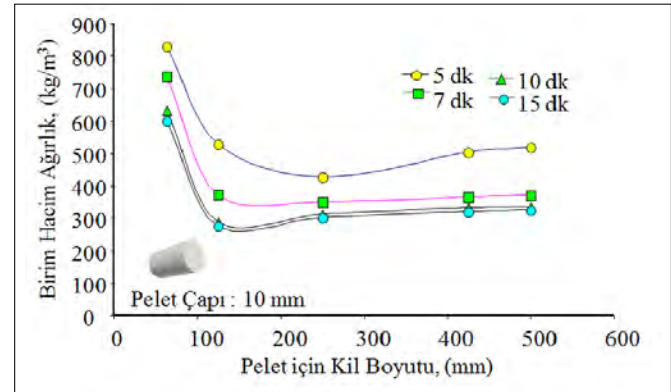
Şekil 13. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (425 µm kil boyutu).



Şekil 14. Genleştirme sıcaklığı - genleşme oranı ilişkisi (500 µm kil boyutu).

Şekil 10- Şekil 14 irdelendiğinde, 5 mm çaplı pelet örneklerinde olduğu üzere her bir kil tane boyutunda genleştirme sıcaklığı artışı, peletin genleşme karakteristiğinde daha belirgin bir artış gözlenmektedir. 63 µm kil boyutlu peletlerin ortalama 940°C sıcaklık değerinden sonra genleşme karakteristiği gösterdiği belirlenmiş olup, bu genleşme olgusunun 980°C sıcaklık değeri ile birlikte önemli bir artış eğilimi göstermektedir. 63 µm kil boyutlu peletlerin 5 dakika genleşme süresi sonunda genleşme oranı ortalama 2.18 iken, bu oran 7, 10 ve 15 dakikalık genleşme süreleri sonunda ise sırasıyla 2.46, 2.87 ve 3.03 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, 63 µm kil boyutu için elde edilen bulgularla mukayese edildiğinde pelet çapının iki katına çıkması ile birlikte, eş değer sürelerde maksimum genleşme oranları arasındaki 5, 7, 10 ve 15 dakika için sırasıyla artış %10, %14.5, %22 ve %21 olduğu görülmüştür. Benzer olgu 125 µm kil boyutlu peletler için de tespit edilmiş olup, ilk genleşme sıcaklığı ortalama 940°C sıcaklık değerinde başlayıp 960°C sıcaklık değerinden sonra daha da belirginleşmiştir. 125 µm kil boyutlu peletlerin 5 dakika genleşme süresi sonunda genleşme oranı ortalama 3.41 iken, bu oran 7, 10 ve 15 dakikalık genleşme süreleri sonunda ise sırasıyla 4.83, 6.22 ve 6.27 ola-

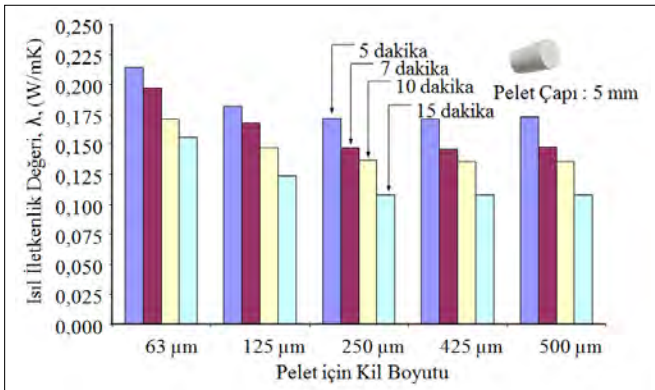
rak belirlenmiştir. En büyük genleşme oranı bu kil boyutun 10 ve 15 dakikalık genleşme süreleri için elde edilmiştir. Kil tane boyutunun 250 µm olması durumunda ise agregaların genleşme karakteristiği 125 µm kil boyutlu peletlere göre ortalama %23'lük ilave genleşme artışı sergilediği görülmüştür. Kil tane boyutunun 425 µm ve 500 µm değerlerinde ise bu genleşme oranı trendinin ortalama %4-5'lik düşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. 250 µm kil boyutunun üzerinde eş değer genleşme sürelerinde genleşme artışı yerine genleşme oranlarında bir azalma olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, kil tane boyutu arttıkça bu pelet çapı test örnekleri için ilk genleşme sıcaklığının göreceli olarak düştüğü ve 930°C değerine kadar ulaştığı da görülebilmektedir. 10 mm çaplı kil peletlerinin genleştirme işlemi sonrası oluşan sinter kabuk formu irdelenmiş olup, 5 mm çaplı peletlerde tecrübe edildiği üzere kil tane boyutu arttıkça oluşan sinter kabuğun daha zayıf, ince katman şeklinde ve göreceli olarak yer yer çatlaklı bir yüzey formu oluşturduğu gözlenmiştir. Kil tane boyutu düştüğünde ise, daha kompakt bir yapı sergileyen ve kısmen kalın ve bütünleşik bir sinter kabuk formunun oluştuğu görülmektedir. Sinter kabuğun kompakt yapısı, agreganın daha geçirimsiz ve daha yüksek mukavemetli olabilesini sağlamaktadır. 10 mm çaplı peletler için elde edilen maksimum genleşme oranları dikkate alındığında kil tane boyutunun farklı değerleri için agregaların birim hacim kütle değerleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular Şekil 15'te verilmiştir.



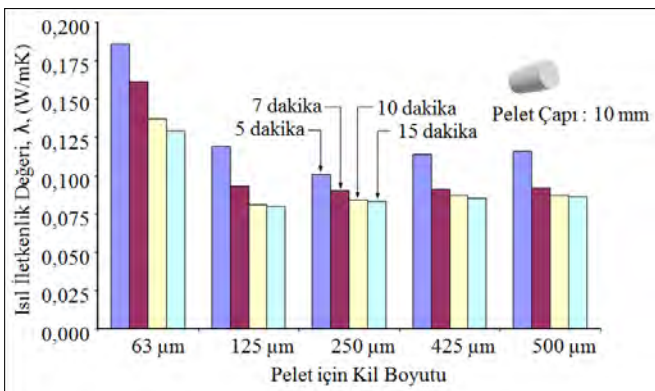
Şekil 15. Kil tane boyutu - agrega birim hacim ağırlık ilişkisi (10 mm pelet çapı).

Şekil 15 irdelendiğinde, genleşmiş agregaların birim hacim ağırlıkları 291 - 832 kg/m³ aralığında değişim göstermiştir. Genleşmiş agrega minimum birim ağırlığı 125 µm kil tane boyutlu peletlerin 1180°C sıcaklıkta 10 dakika genleşme süresinde elde edilmiştir. Eş değer kil tane boyutunda elde edilen peletlerin artan genleşme sürelerinde agrega birim hacim ağırlık değerlerinin düştüğü görülmüştür. Genleşme işlemi sonrası agrega birim ağırlık değerleri dikkate alındığında, 600 kg/m³ değerinden daha düşük yoğunluktaki agregaların genellikle

yalıtım amaçlı ve/veya taşıyıcı olmayan yapı malzemelerinin üretiminde kullanımı öngörülebilmektedir. 125 µm ve üzeri kil boyutlu, 10 mm çaplı kil peletlerinin maksimum genleşme sonrası elde edilen düşük yoğunluklu agregalar, yalıtımlı hafif beton ve harç üretimlerinde agregalar olarak kullanılacak malzemeler olduğu görülebilmektedir. Enerji verimliliğine katma değer sağlayan yapı malzeme ve elemanlarının üretiminde, ısı iletkenlik değerleri düşük agregalar malzemelerin kullanılması önemsenmektedir. Agregalar malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin malzemenin birim hacim ağırlık değeri ve gözenekliliğin bir fonksiyonu olarak değişim gösterdiği bilinmektedir. Gözenekliliği yüksek ve birim hacim ağırlığı düşük agregalar malzemelerin ısı iletkenlik değerleri genellikle düşüktür. Farklı kil boyutu ve pelet çaplarında hazırlanan örneklerin genleştirme işlemleri sonucu her bir agregalar malzemenin ısı iletkenlik değeri belirlenmiştir. Bulgular Şekil 16 ve Şekil 17’de verilmiştir. Şekil 16 irdelendiğinde, 5 mm çaplı peletlerin maksimum genleşme işlemi sonrası agregalar ısı iletkenlik değerleri 0.108 - 0.214 W/mK aralığında değişim göstermiştir. 10 mm çaplı peletlerin maksimum genleşme işlemi sonrası agregalar ısı iletkenlik değerleri ise 0,084 - 0,186 W/mK aralığında değişim göstermiştir (Şekil 17).



Şekil 16. Kil tane boyutu - agregalar ısı iletkenlik değeri ilişkisi (5 mm pelet çapı).



Şekil 17. Kil tane boyutu - agregalar ısı iletkenlik değeri ilişkisi (10 mm pelet çapı).

Elde edilen parametrik bulgulardan genleşmiş kil agregasının ısı iletkenlik değerini fonksiyonel olarak belirlemek amacıyla aşağıda tanımlanan görgül bir ifade geliştirilmiştir. Burada; λ, genleşmiş agreganın ısı iletkenlik katsayısı değerini (W/mK), f, kil tane boyutu (µm) ve ρ ise agregalar birim hacim ağırlık değeri (kg/m³)’ü temsil etmektedir.

$$\lambda = 0,047 * \sqrt[60]{f} * e^{0,00157 * \rho} \quad (1)$$

Genleşmiş agregalarda düşük birim hacim ağırlık ile ısı iletkenlik değerinin de önemli ölçeklerde düştüğü görülmüştür ve agregaların daha ısı yalıtımlı bir formata dönüştüğü tecrübe edinilmiştir. Yalıtım amaçlı bir yapı malzeme ve/veya elemanı üretiminde genleşmiş kil agregalar kullanımının düştüğü durumda, 125 µm kil boyutlu ve üzerinde, 10 mm pelet çaplı ve minimum 1100°C sıcaklıkta minimum 7 dakikalık bir genleşme süresine maruz kalmış agregaların kullanımı önem kazanmaktadır. Ancak, diğer kil boyutu ve pelet çaplı genleşmiş kil agregaların da sektörde yalıtımlı ürünlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayacağı açıkça görülebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ankara Kalecik Bölgesi’nden temin edilen kil örneklerinin genleşen kil agregalar olarak teknik özellikleri, performansları ve inşaat mühendisliği uygulamalarında hafif agregalar olarak kullanılmaları değerlendirilmiştir. Ankara Kalecik Bölgesi kilinin genleştirilmesiyle elde edilen yapısal, fiziksel ve ısı iletkenlik özellikleri karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Ankara-Kalecik kil örnekleri ile 5 mm ve 10 mm pelet çapında hazırlanmış örnekler genleştirme sıcaklığı etkisinde 5 - 15 dakikalık periyotlu genleştirme süresinde genleşme oranları saptanmıştır. Bu yaklaşıma göre 63 µm, 125 µm, 250 µm, 425 µm ve 500 µm kil boyutlarındaki 5 mm ve 10 mm çaplı pelet örneklerinin genleşme karakteristiği irdelenmiştir. 5 mm çaplı pelet genleşmiş agregaların birim hacim ağırlıkları 464 - 921 kg/m³ aralığında değişim göstermiştir. Özellikle 125 µm ve üzeri kil boyutlu, 10 mm çaplı kil peletlerinin maksimum genleşmesi sonrası elde edilen düşük yoğunluklu agregaların, genellikle yalıtımlı hafif beton ve harç üretimlerinde agregalar olarak kullanılacak olduğu görülmüştür. Ayrıca, agregalar birim hacim ağırlığı ve kil tane boyutu kullanılarak genleşmiş agreganın ısı iletkenlik katsayısını veren bir yaklaşım da çalışma kapsamında geliştirilmiştir ve genleşmiş kil agregaların da sektörde yalıtımlı ürünlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayacağı açıkça görülmüştür.

Kaynaklar

1. DPT, 2005, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, "Yapı malzemeleri-Genleşen Killer", s69-73.
2. Gündüz, L., Şapıcı, N., Bekar, M. ve Yorgun, S., 2006; "Genleşmiş Kilin Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği", Kibited, 2, 43-49.
3. Anonim, 2000. A Technical Report on The Lightweight Expanded Clay Aggregates (LECA), ESCSI, USA, s 125.
4. ESCSI, 2008; "Expanded Shale, Clay & Slate A World of Application Worldwide", Expanded Shale, Clay and Slate Institute, Utah.
5. Kvande, T., 2001; "Investigations of Some Material Properties for Structural Analysis of LECA Masonry", Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Department of Building and Construction Engineering, PhD Thesis, Norway, 252.
6. Özgüven A., 2009, *Genleşen Kil Agregası Üretimi ve Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, FBE, Isparta, s307.
7. Özgüven A., Çandır İ. Gündüz L., "Ankara - Kalecik Kilinin Genleşmiş Kil Agregası Üretiminde Değerlendirilmesi", IMCET 2013, 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey, 16-19 April, 2013 Antalya, s1005-1017, Antalya, Türkiye.
8. Özgüven, A., Aras, A., Çandır, İ., Oral, E., Bayrakdar, H., Açıkgöz, Z.Y., 2009; "Bazı Genleşen Kil Zuhurlarının Değerlendirilmesi Proje Raporu", Rapor No: 11224, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 105.
9. Pavlov, V.F., 1960; "The Effect of Viscosity Changes in the 800-1200° Range on The Vitrification and Bloating of Low Refractory Clays", Glass and Ceramics, 17(3), 133-137.