KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(3), 2024
Araştırma Makalesi

KSU J Eng Sci, 27(3), 2024
Research Article

Kahramanmaras Sutcu Imam University
Journal of Engineering Sciences

Geliş Tarihi : 08.02.2024
Kabul Tarihi : 11.03.2024

Received Date : 08.02.2024
Accepted Date : 11.03.2024

HAM PERLİT ESASLI HAFİF GEOPOLİMERLERDE HİDROJEN PEROKSİT KAYNAKLI GENLEŞME: DENEYSEL BİR YAKLAŞIM

HYDROGEN PEROXIDE-INDUCED EXPANSION IN RAW PERLITE BASED LIGHTWEIGHT GEOPOLYMERS: AN EXPERIMENTAL APPROACH

Ali İhsan ÇELİK[1] (ORCID: 0000-0001-7233-7647)
Mehmet Cemal ACAR[2] (ORCID: 0000-0002-3241-5353)
Ufuk TUNÇ[1*] (ORCID: 0000-0002-9986-9456)
Ramazan KAYABAŞI[1] (ORCID: 0000-0001-6195-7445)
Ahmet ŞENER[1] (ORCID: 0000-0001-7562-7631)

[1,2] Kayseri Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Kayseri, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ufuk TUNÇ: ufuktunc@kayseri.edu.tr

ÖZET

Modern yapılarda yığma duvarların hafif ve dayanıklı malzemelerle inşa edilmesi, aynı zamanda düşük ısı iletkenliğe sahip olması büyük önem taşımaktadır. Bu tür elemanlarda hafiflik, dayanıklılık ve ısı geçişine karşı direncin artırılması bina yükünü azaltırken ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmaya katkı sunmaktadır. Özellikle ham perlit temelli hafif betonların üretiminde, Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ilavesiyle genleşme sağlanabilmektedir. Bu çalışmada ise %1, %2, %3 ve %4 oranlarda H_2O_2 ilavesinin kullanıldığı ham perlit esaslı hafifi yapı elemanlarının deneysel olarak incelemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, %3 oranında H_2O_2 ilavesinin en iyi sonuçları verdiğini, %4 ilavesiyle perlit taneciklerinde aşırı şişme ve yapısal dağılma meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik performansı arasındaki ilişki, kullanılan H_2O_2 oranıyla değerlendirilmiştir. TGA ve DTA analizine göre numunenin kütle kaybına uğradığı sıcaklık dereceleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hafif geopolimer beton, ham perlit, hafif geopolimer beton dayanımı, perlit genleşmesi, TGA, DTA

ABSTRACT

In modern buildings, it is of great importance that masonry walls are constructed with light and durable materials and at the same time have low thermal conductivity. Increasing lightness, durability and resistance to heat transfer in such elements contributes to reducing heating and cooling loads while reducing the building load. Especially in the production of raw perlite-based lightweight concretes, expansion can be achieved by adding Hydrogen Peroxide (H_2O_2). In this study, raw perlite-based lightweight structural elements using 1%, 2%, 3% and 4% H_2O_2 addition were experimentally examined. The results obtained showed that the addition of 3% H_2O_2 gave the best results, while the addition of 4% caused excessive swelling and structural disintegration in the perlite particles. Additionally, the relationship between bending strength, compressive strength and thermal conductivity performance was evaluated with the H_2O_2 ratio used.

Keywords: Lightweight geopolymer concrete, raw perlite, lightweight geopolymer concrete strength, perlite expansion, TGA, DTA

GİRİŞ

ToCite: ÇELIK, A.İ., ACAR, M.C., TUNÇ, U., KAYABAŞI, R., & ŞENER, A., (2024). HAM PERLİT ESASLI HAFİF GEOPOLİMERLERDE HİDROJEN PEROKSİT KAYNAKLI GENLEŞME: DENEYSEL BİR YAKLAŞIM. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(3), 886-895.

Alkaliyle aktive edilen çimentolu malzemelerin küresel iklim değişikliği potansiyeli, normal Portland çimentosu içeren çimentolu malzemelerden yaklaşık %55-75 daha düşüktür. Alkali ile etkinleştirilmiş betonun üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit (CO_2) emisyonları, normal Portland çimento içeren betonlardaki CO_2 salınımının sadece %20'sine denk gelmektedir (Yang, Song, ve Song, 2013). Bu nedenle, alkaliyle aktive edilen beton, çevreye daha az karbon salınımı yaparak çevre dostu bir seçenek sunar. Alkali ile aktif hale getirilen malzemeler (bağlayıcılar), geleneksel Portland çimentosunun yerini almak için hızla büyüyen bir alternatif olarak öne çıkar çıkar (McLellan vd., 2011; Provis, Palomo, ve Shi, 2015).

Günümüzde binaların ısıl verimliliği ekonomik ve çevresel sorunlar nedeniyle yeniden değerlendirilmektedir. Bu amaca ulaşmak için, malzemelerin ısıl iletkenlik ve güneş ışınlarını yansıtma yeteneği gibi termal performans, binalardaki enerji tüketimi açısından önemlidir. Gözenekli çimentolu malzemeler genellikle termal bariyer olarak kullanılır ve termal enerjinin bir binadan kolayca kaçmasını önler. Gözenek boyutu, dağılımı, malzemenin yoğunluğu ve dolgu maddesi türü malzemenin termal özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir. Bunun için gözenek oluşturucu ajan olarak H_2O_2 mekanik, fiziksel ve termal etkisini belirlemek amacıyla hafif (lightweight) geopolimer macunlar ve harçlar hazırlandı. H_2O_2 konsantrasyonunun hafif geopolimerlere etkisi değerlendirildi.

Bu çalışmanın amacı, H_2O_2 konsantrasyonunun, alkaliyle aktive edilmiş geopolimer macun ve harçların yoğunluğu, basınç dayanımı, mineral bileşimi, gözenek dağılımı, ısıl iletkenlik ve mikro yapısı üzerindeki etkisini belirlemektir. H_2O_2 gibi bir köpürme ajanı kullanarak gözenekli numuneler oldukça kolay bir şekilde oluşturulabilir. Uygulamada en çok kullanılan köpürücü maddeler, reaksiyon sırasında oksijen açığa çıkaran H_2O_2'dur. Aktivasyon işleminin bu dizisi, malzemenin kapalı gözenek ağının oluşmasını sağlar (Ducman ve Korat, 2016). Köpürücü madde olan H_2O_2 miktarına bağlı oldukça gözenekli macun ve harç üretilmesini sağlar ve nihai özelliklerini belirler. Böylece, yeni malzemelerin ısı yalıtımı uygulamalarında çimentoya alternatif olarak kullanılmasının uygulanabilirliğini ortaya koyar (Łach, Korniejenko, ve Mikuła, 2016).

H_2O_2 konsantrasyonunun hafif geopolimer macun ve harç üretiminde kullanılması ve etkisi konusunda oldukça farklı literatür çalışmaları vardır. H_2O_2'nin termal iletkenlik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisi yaklaşık %0,6'lık bir konsantrasyona kadar anlamlı olduğunu; bu konsantrasyonun üzerinde gözenek oluşumunda herhangi bir artış olmaksızın sabit bir davranış sergilediği gösterilmiştir (Alves vd., 2023). S. Li vd. (2022), farklı H_2O_2 dozajlarının, %0,1 polypropylene elyaf, %5 H_2O_2 ve %4 silis dumanı içeren Fly Ash Foam Concrete (FAFC)'nin basınç dayanımı ve ısıl iletkenlik parametreleri üzerindeki test sonuçları incelemiştir. FAFC'nin basınç dayanımı ve ısıl iletkenliğinin H_2O_2 dozajının artarak %4 olmasıyla ve FAFC için en yüksek basınç dayanımının 0,670 MPa ve termal iletkenliği 0,0596 W/(m·K) olmuştur. Bu karışımlarda, en düşük ısıl iletkenlik değeri elde etmek için H_2O_2 dozunun %5 olması tavsiye edilmiştir. Şahin, Erdoğan, ve Bayer (2018) yaptıkları çalışmada, H_2O_2 köpürtücü ajan olarak kullanılmış ve kütle yoğunluğu 516 kg/m^3 ila 1199 kg/m^3 arasında değişen, basınç dayanımı 0,5–30,0 MPa ve termal iletkenliği 0,117 ila 0,206 W/(m·K) arasında değişen alkaliyle aktive edilmiş hafif öğütülmüş yüksek fırın cüruf geopolimer numuneleri üretmeyi başarmıştır.

Esmaily ve Nuranian (2012), basınç dayanımı büyük oranda gözenek yapısından etkilendiğini belirtmişler. Hücresel alkali ile aktifleştirilen cüruf üzerinde yapılan çalışmada, sodyum silikat modülünün optimize edilmesiyle optimal gözenek yapısı oluşturulmuştur. Gözenekli malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, malzeme içindeki gözeneklerin farklı boyutlardaki dağılımına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Aynı toplam gözeneğe sahip malzemeler, büyük gözenek sayısı az veya küçük gözenek sayısı fazla olduğu durumlarda tamamen farklı özelliklere sahip olduğu ifade edilir.

H_2O_2 kullanılarak sentezlenen hafif geopolimer macunlarda ve harçlarda gözenek yapısının etkisi, çeşitli araştırmalarda ele alınmıştır. Örneğin, uçucu kül ve metakaolinden üretilen hafif geopolimer macunlarında köpük oluşturucu madde olarak H_2O_2 kullanılmıştır (Bai ve Colombo, 2018; Novais vd., 2016). Bu çalışmalardan birinde, alkali aktive edici madde olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve şişirme maddesi olarak %35 konsantreli H_2O_2 çözeltisi, fırın cürufu ile %2 oranında karıştırılmıştır. Demirli cüruf ve fosfojips, alkali ile aktive edilerek geopolimer üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu gözenekli betonun basınç dayanımı 2,12–7,95 MPa aralığında, yoğunluğu 830 kg/m^3 ila 1142 kg/m^3 aralığında, ısıl iletkenliği ise 0,0985–0,2618 W/(m·K) aralığında belirlenmiştir (Tamošaitis vd., 2023).

Başka bir çalışmada, çimento bazlı uçucu kül köpük betonunun hazırlanmasında köpük oluşturucu madde olarak H_2O_2 kullanılmıştır. Bu çalışmada, H_2O_2 içeriğinin artmasıyla (%5,5~7,5), gözeneklilik artmış ve gözenek boyutu artma eğilimi göstermiştir. Az miktarda uçucu kül (%10-20) eklenmesi, köpük betonunun gözenek yapısını

iyileştirmiş ve gözenek boyutunu küçültmüştür. En iyi performansın elde edildiği durum, uçucu kül içeriğinin %40 olduğu durumdur. Bu durumda gözeneklilik en yüksek seviyededir, gözenek boyutu dağılımı daha düzgündür. Bu durum, gözenek yapısını kontrol etmeyi, köpük betonunun kuru kütle yoğunluğunu önemli ölçüde azaltmayı ve termal iletkenliği önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılmıştır (Zhang vd., 2022). Diğer bir çalışmada, köpüklü hafif çimentolu kompozitlerin (FLCC) gözenekliliği, çimento ağırlığına göre aerojel (%1) ve %35 konsantreli H_2O_2 (%3) birlikte eklenmesiyle %221'e kadar artırılabileceği belirtilmiştir. Minimum mukavemet ve 0,16 W/m·K minimum termal iletkenlik elde etmek için ise FLCC'deki maksimum aerojel ve H_2O_2 içeriğinin sırasıyla %1 ve %3 olması önerilmiştir (Tan vd., 2022). Başka bir çalışmada, köpüklü fosfoalçılı çimentolu malzemelerin H_2O_2 katkısıyla performans değişiklikleri araştırılmıştır. H_2O_2 içeriğinin artmasıyla köpüklü fosfojips bazlı çimentolu malzemelerin basınç dayanımı ve termal iletkenliği azalmıştır. Örneğin, H_2O_2 içeriği %1 olduğunda, 28 günlük basınç dayanımı 21,33 MPa, termal iletkenlik 0,3343 W/(m·K) olmuştur. H_2O_2 içeriği %2,5 olduğunda ise 28 günlük basınç dayanımı sadece 1,19 MPa, termal iletkenlik 0,1338 W/(m·K) olmuştur. Çalışmada, H_2O_2'nin fosfojips esaslı çimentolu malzemeler üzerindeki köpürme etkisi açıkça gözlemlenmiştir. H_2O_2 içeriği %3 olduğunda, malzemenin tüm kısımlarının gözeneklerle dolu olduğu ve gözenek çaplarında artış olduğu belirtilmiştir (Chen vd., 2022).

Öte yandan, hafif köpüklü geopolimer betonun prizlenmesi sırasında H_2O_2 sürekli olarak ayrışarak mikro yapının oluşumunu bozduğunu ve bu nedenle geopolimerin prizlenme süresini uzattığını belirten bir çalışma bulunmaktadır (Hermann vd., 2022). Diğer bir çalışma, H_2O_2'in suyla her oranda karışabilen, etkili ayrışma hızına sahip, diğer köpük yapıcı maddelere göre daha ekonomik olan inorganik bir sıvı olduğunu ve bu özellikleri nedeniyle çevre kirliliğine neden olmadığını vurgulamaktadır (T. Li vd., 2019). Literatürdeki bu çeşitli çalışmalar, H_2O_2 kullanımının alkali ile aktive edilmiş geopolimer malzemelerin gözenek yapısı, basınç dayanımı ve termal özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı, H_2O_2 konsantrasyonunun alkali ile aktive edilmiş ham perlit esaslı geopolimer malzemelerin yoğunluğu, basınç dayanımı, mineral bileşimi, gözenek dağılımı, ısıl iletkenlik ve mikro yapısı üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde belirlemektir. Bu çalışmanın sonuçları, H_2O_2 çeşitli yüzdelerde kullanımının, hafif geopolimer malzemelerin performansını optimize etme potansiyelini ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı avantajları aydınlatması beklenmektedir. Bu bulgular, çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesi ve kullanılması yolunda önemli bir adım olabilir. Geopolimer karışımlarda optimum H_2O_2 oranının belirlenmesi, literatüre daha geniş bir bakış açısı sunarak, bu alanda gelecek çalışmalar için bir temel oluşturabilir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, ham perlit Fixmax firmasının Ankara'ya 120 kilometre uzaklıktaki Çankırı Çerkeş'teki maden sahası ve tesisinden elde edilen öğütülmüş ham perlit kullanılmıştır. Ham perlitin yaklaşık ortalama tanecik çapı 40 mikron ve özgül ağırlığı 2,36 gr/cm^3. Ham perlite ait kimyasal içerik Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Ham Perlit Kimyasal İçeriği

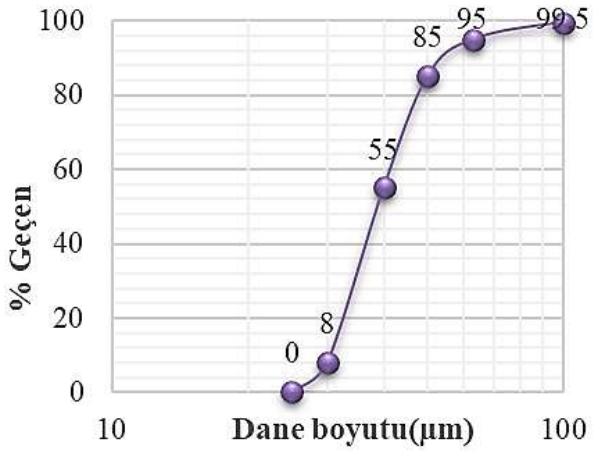
İçerik	%
SiO_2	71-73
Al_2O_3	13.1-14.2
Na_2O	3-3.5
K_2O	2.4-4.7
CaO	1-1.3
Fe_2O_3	1-1.1
MgO	0.15-0.22
TiO_2	0-0.13
H_2O	3-4

Bu çalışma kapsamında hazırlanan macun ve harç numunelerine ait karışım oranları Tablo 2'de gösterilmiştir. Macun karışımlarında sadece ham perlit kullanılırken, harç karışımlarında kum ham perlit ile ikame edilmiştir. Alkali aktivatörler olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve 13 Molarite sodyum hidroksit (NaOH) tercih edilmiş olup, numunelerde hacim kazanılmasını sağlama adına H_2O_2 tercih edilmiştir. Perlitin dane boyutu dağılımına ait eğri Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan harç karışımlarının hazırlanmasında CEN standart kumu kullanıldı.

Limak Çimento Fabrikası'nda CEN Standardında (%100 'ü 2 mm'yi, %1'i 0,08 mm'yi geçer) şekilde dane dağılımı tercih edilmiştir.

Tablo 2. Macun ve Harç Karışımlarına Ait Oranları

Numune Adı	Numune No	Ham Perlite (gr)	Rilem Kum (gr)	Na_2SiO_3 (gr)	NaOH (13M) (gr)	H_2O_2 (%)
Macun 1	*1*	525	-	180	120	0
Macun 2	*2*	525	-	180	120	1
Macun 3	*3*	525	•	180	120	2
Macun 4	*4*	525	-	180	120	3
Macun 5	*5*	525	-	180	120	4
Harç 1	*6*	262,5	262,2	180	120	0
Harç 2	*7*	262,5	262,2	180	120	1
Harç 3	*S*	262,5	262,2	180	120	2
Harç 4	*9*	262,5	262,2	180	120	3
Harç 5	*10*	262,5	262,2	180	120	4



Şekil 1, Ham Perlit Dane Dağılımı

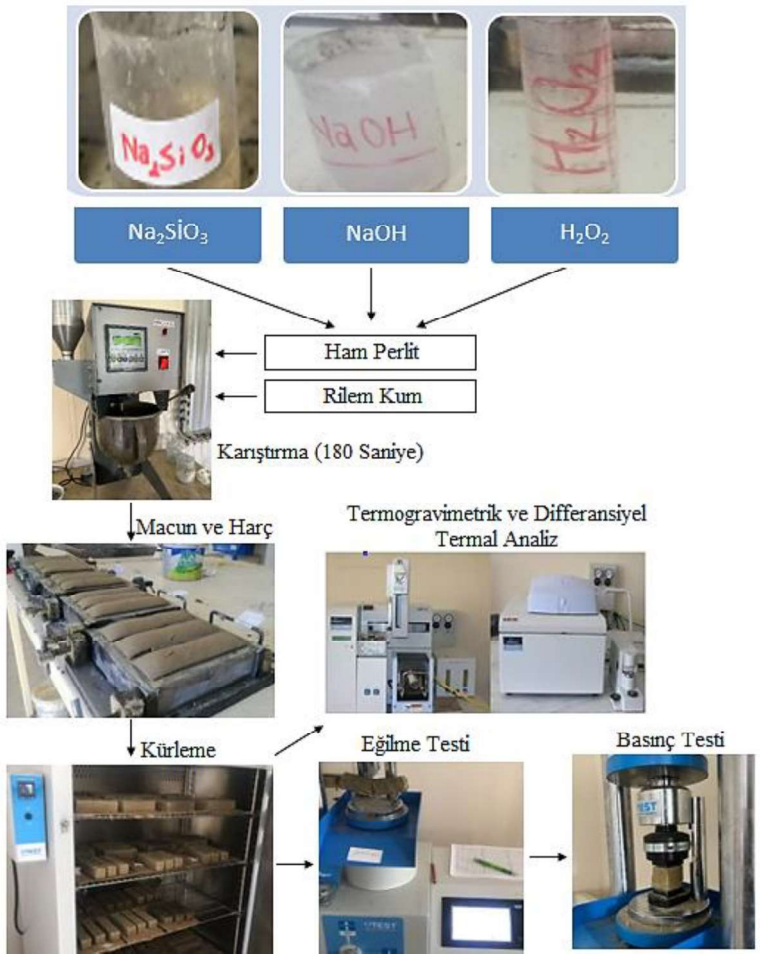
Karışım oranları verilen macun ve harç numunelerine ait karışım oranlarında eğilme ve basınç test numuneleri hazırlanmıştır, Karışımların hazırlanmasında tüm macun ve harç numuneleri için 10 lt kapasiteli laboratuvar mikseri kullanılmıştır, Eğilme ve basınç dayanımları ile yoğunlukların belirlenmesi için 40x40x160 mm kalıplar, basınç dayanımları ve genleşmelerin belirlenmesi için ise 70x70x70 mm kalıplar kullanılmıştır,



Şekil 2, Hazırlanan Numunelerin Kürlenme ve Testleri

Numuneler kalıplara yerleştirildikten sonra numunelerin yaklaşık iki saat boyunca serbestçe genleşmesine izin verildi, Daha sonra priz süresinden hemen önce (yani tam sertleşmeden önce), numunelerin genişleyen ve kalıptan taşan kısımlarının üst yüzeyleri maket bıçağı kullanılarak kesildi ve düzeltildi, Oda sıcaklığında bekletilen numuneler ardından iki gün sonra numuneler 80 °C'de kuru bir fırında 48 saat boyunca kürlendi, Çalışma kapsamında, numunelerin hazırlanıp kürlenmesi ve test aşamasına dair görsel Şekil 2'de yer verilmiştir, Çalışmanın akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir, Öncelikle hazırlanan alkali aktivatörler mikser içerisine dökülmüş ve hassas olarak tartılan ham perlit ve rilem kumu Tablo 2'de verilen oranlarda hazırlanarak miksere eklenmiştir, Karıştırıcıda 180 saniye karıştırılan numuneler kalıp yağı ile yağlanmış numune kalıplarına alınarak sıkıştırılmış ve 1 gün süreyle atmosfer

koşullarında bekletilmiştir, Numunelerin fazlası gün sonunda numuneden kesilerek alınmış ve 24 saat süre ile 85 °C'de fırında kürlenmiştir, 24 saat sonrası kür fırınından çıkarılan numuneler soğuduktan sonra çıkarılarak atmosfer koşullarında bekletilmiş ve 7 gün sonrasında ilk kırım işlemi yapılmıştır, Ayrıca termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz için basınç dayanımı en iyi çıkan numuneden bir parça dövülerek toz haline getirilmiştir,



Şekil 3, Hazırlanan Numunelerin Kürlenme ve Testleri

Isıl iletkenlik ve ısıl direnç malzemelerin fiziksel özelliklerini tanımlamada önemli bir yere sahiptir, Ayrıca bu özellikler malzemelerin kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır, Isıl iletkenliği yüksek malzemeler ısı geçişinin yüksek olması gereken yerlerde aranılan bir özellik olduğu gibi düşük ısıl iletkenlik ısıl direncin yüksek olması istenilen yerlerde aranılan bir özelliktir, Isıl iletkenlik malzemenin birim kalınlığı boyunca birim alandan birim sıcaklıkta ısı transfer hızıdır ve bu değer, malzemede (k) değeri olarak bilinmektedir, K değerinin yüksek olması malzemenin ısıyı iyi ilettiğini, düşük olması ısıl direncinin yüksek olduğunu gelmektedir, Malzemenin K değeri çok düşük ise malzemenin ısıl direnci yüksek olması nedeniyle yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesi demektir, Yapı bileşeni üretirken yapı bileşeninde kullanılan ham maddelerin özellikleri eklenen bağlayıcılar ve yüzey pürüzlülüğü dâhil birçok etken ısıl iletkenliği etkilemektedir, Burada önemli olan malzemeden beklenen ısıl iletkenliğinin yüksek mi, düşük mü olmasıdır, Beklenilen duruma göre malzemenin özeliklerini etkileyecek olumlu ham maddelerin ve imalat yöntemlerinin kullanılması yararlı olacaktır,

Yapı malzemesi olarak kullanılan yapının taşıyıcı veya tamamlayıcı bileşenlerinde ısıl iletkenliği düşük malzemelerin kullanımı yapılarda ısı geçişini azaltmakta ve dolayısıyla ısıtma ve soğutma giderlerini azaltmaktadır, Ayrıca yapının termal konfor şartlarında daha uzun süre kalmasını ve ısıtıcı ve soğutucu cihazların devreye girme sürelerini uzatarak daha az çalışmalısını sağlamaktadır, Bu durum enerji tüketimini düşürmesi nedeniyle CO_2 üretimini azaltarak yapının çevreye daha duyarlı hale gelmesini sağlamaktadır,



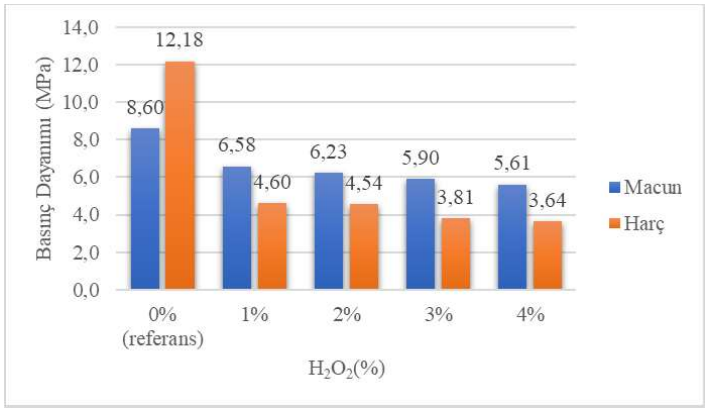
Şekil 4, Termogravimetrik ve Diferansiyel Termal Analiz Cihazı (TG/DTA)

Numunelerin 400 °C'ye kadar artan sıcaklığa veya zamana bağlı olarak kütle değişimini Termogravimetrik analiz cihazı (TGA), ve referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkı (DTA), numunenin ağırlık kaybına uğrayıp uğramadığını ve bu kaybın miktarını (TG) göstermektedir, TG/DTA artan sıcaklığa veya zamana bağlı olarak organik veya anorganik numunelerin kütle değişimini, TGA referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkını aynı anda ölçmektedir, TGA sıcaklığa değişkenine bağlı numunedeki ağırlık değişikliklerini tanımlamak için kullanılan bir test türüdür ve ağırlık kaybı hızı, sıcaklığın veya sürenin fonksiyonu olarak kaydedilir, Bu analiz kapsamında numunede ağırlık, sıcaklık ve sıcaklık değişimi yüksek hassasiyetle ölçülerek analiz edilmektedir (Şekil 4),

BULGULAR VE TARTIŞMA

Basınç Dayanımı

Perlit esaslı geopolimer hafif beton numuneler 80 °C'lik fırın küründen sonra dış ortamda toplam 28 gün bekletildikten sonra basınç dayanımları test edilmiştir, Şekil 5'te basınç dayanım sonuçlarını göstermektedir, Toplam 10 numunenin 5 adeti macun diğer 5 adeti harçtır, Her iki grubun ilk numunesi referans olarak alınmıştır, Referans numunelerde H_2O_2 ilavesi bulunmamaktadır, Macun ve harçların referans numunelerinin basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında harç numunesi 12,18 MPa ve macunun 8,60 MPa olduğu görülmektedir, Burada harçların macundan daha yüksek basınç dayanımına sahip olması beklentileri doğrulamaktadır, Devamında, %1 den %4'e kadar artırılan H_2O_2 ilavesine bağlı olarak hem macunda hem de harçlarda basınç dayanımını düştüğü görülmektedir, Fakat, referans numunede harcın dayanımı macundan yüksek iken H_2O_2 ilavesi içeren bütün numunelerde macunun basınç dayanımı harçlardan daha yüksek çıkmıştır, Bu çalışmada elde edilen önemli bir bulgu olarak, standart kum ile üretilen ham perlit esaslı harçların basınç dayanımı daha düşük çıktığından macun üretiminin hafiflik ve basınç dayanımı saçısında daha avantajlı olduğu söylenebilir, Grafiğe göre H_2O_2 ilavesi %1 olduğunda macunda 6,58 MPa ve harçta 4,60 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %2 olduğunda macunda 6,23 MPa ve harçta 4,54 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %3 olduğunda macunda 5,90 MPa ve harçta 3,81 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %4 olduğunda macunda 5,61 MPa ve harçta 3,64 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir,

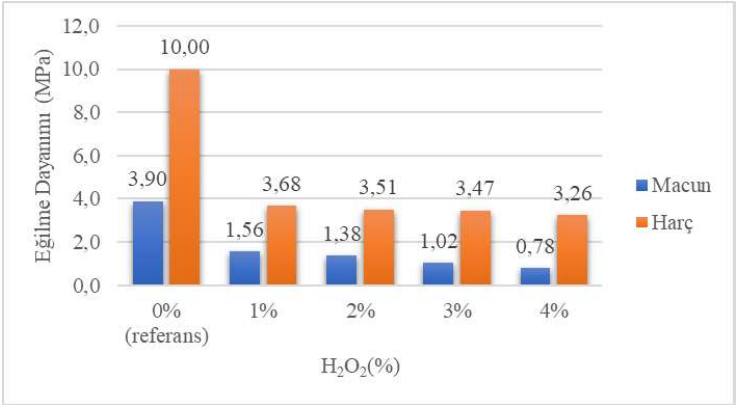


Şekil 5, Macun ve Harç Numunelerde H_2O_2 Oranına Göre Dayanımları

Eğilme Dayanımı

Bu çalışma kapsamında elde edilen bütün numunelerin eğilme dayanım testleri de gerçekleştirilmiştir, Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da gösterilmektedir, Sonuçlara göre referans numunelerde harç dayanımının macuna göre çok yüksek olduğu görülmektedir, H_2O_2 içermeyen macunda eğilme dayanımı 3,9 MPa olurken harçta 10 MPa olmuştur, Devamında, H_2O_2 oranı arttıkça benzer bir davranış ile harçların eğilme dayanımlarının macunlardan daha yüksek olduğu görülmektedir, Genel bir değerlendirme ile H_2O_2 ilavesi ile harçlardaki eğilme dayanımları 3,68 MPa ile 3,26 MPa arasında yaklaşık değerler alırken, macunlarda 1,56 MPa dan 0,78 MPa kadar eğilme dayanımı değişimi ilgi

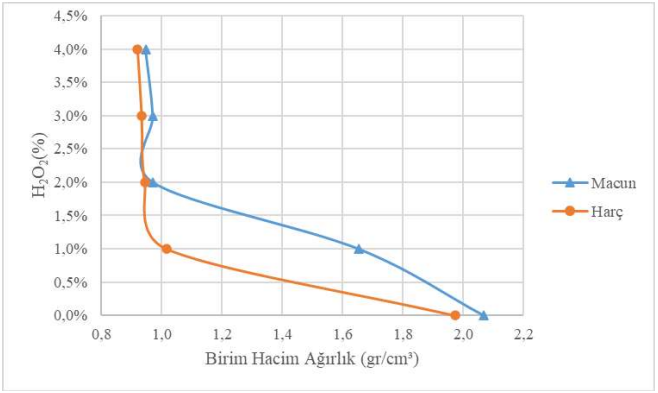
çekicidir, Elde edilen sonuçlara göre sırasıyla, göre H_2O_2 ilavesi %1 olduğunda macunda eğilme dayanımı 1,56 MPa ve harçta 3,68 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %2 olduğunda macunda 1,37 MPa ve harçta 3,51 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %3 olduğunda macunda 1,02 MPa ve harçta 3,81 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir, H_2O_2 ilavesi %4 olduğunda macunda 5,61 MPa ve harçta 3,64 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir,



Şekil 6, Macun ve Harç Numunelerde H_2O_2 Oranına Göre Eğilme Dayanımlar

Birim Hacim Ağırlık

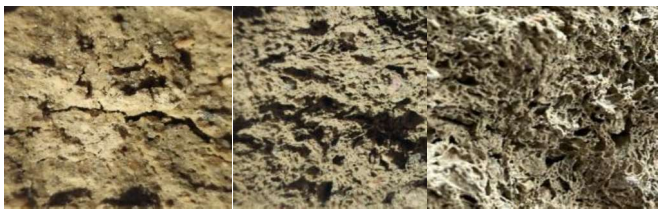
Hafif beton söz konusu olduğunda, birim hacim ağırlık değerleri önem kazanmaktadır, Şekil 7'de macun ve harç numuneler için H_2O_2 oranı ile birim hacim ağırlık değerleri arasındaki değişimi göstermektedir, Sonuçlara göre harç ve macun numunelerde H_2O_2 oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir, Harç ve macun numunelerde H_2O_2 oranı %4 den %3'e azalırken birim hacim ağırlık değerlerinde artma görülmektedir, H_2O_2 oranı %0(referans) olduğunda ise birim hacim ağırlığının 2,1 gr/cm^3 olduğu görülmektedir,



Şekil 7, Macun ve Harç Numunelerde H_2O_2 Oranı ile Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki

Termogravimetrik ve Diferansiyel Termal Analiz

Şekil 9 da analiz sonuçları incelendiğinde numunenin kütle kaybına uğradığı sıcaklık dereceleri TG grafiğinde 80°C, 180°C ve 400°C seviyelerinde görülmektedir, 50°C ile 100°C arasında ve 150°C ile 200°C arasında egzotermik durumlar gerçekleşmiş ve bu durumlarda kütle kaybı görülmüştür, Şekil 8'de göre sabit ısıtma sürecinde ekzotermik veya endotermik reaksiyonlar bir pik veya bir çukur olarak görülmektedir, Numune ısıtılması esnasında ekzotermik olayların meydana gelmesi sonrasında endotermik olaylarda görülmektedir, H_2O_2 oranı artırıldığında numunelerde genleşme artmaktadır, Bu durumda kalıp içerisinde malzemenin yoğunluğunun düşmesini sağlamakta dolayısıyla numune ağırlığı azalmaktadır, Hafifleşen malzeme içerisinde hava boşluklarının artması nedeniyle ısıl iletkenlik azalmakta ve ısı geçişine karşı bu boşluklar direnç oluşturmaktadır, Bu durumda dolgu malzemesi olarak duvarlarda kullanılması halinde hem hafifliği nedeniyle ağırlık azalacak hem de ısıl direncin artması nedeniyle bina ısı kontrolünün sağlanması için kış ve yaz şartlarında daha az enerji harcanan hacimler üretilebilecektir, Isıl direncin artması nedeniyle yakıt tüketimi azalması sebebiyle CO_2 üretimi azalacak olup daha çevreci binaların üretilmesini sağlayacaktır,

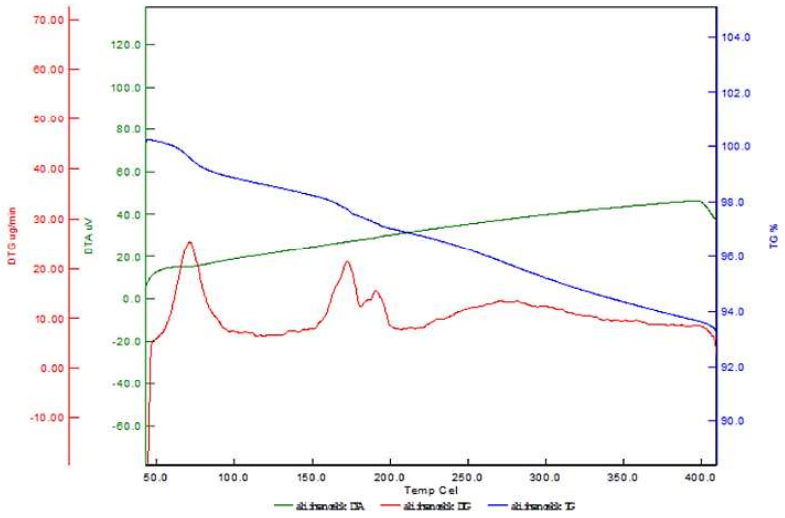


Şekil 8, Harç Numunelerde Artan H_2O_2 Oranının Etkisi

Tablo 2 de belirtilen miktarlar kullanılarak oluşturulan numunelerde H_2O_2 etkisiyle genleşme gerçekleşmiştir, Şekil 8 de tablo 2 de verilen harç 1, harç 3 ve harç 5' in eğilme dayanımı testi sonrası en kesit fotoğrafları görülmektedir, H_2O_2 oranı arttığında numunelerde gözeneklilik artmaktadır, Bu duruma paralel olarak numunelerin birim hacim ağırlıkları azalmaktadır, Gözeneklilik oranının artması, numunelerin termal direncin artmasına dolayısıyla ısıl iletkenliğini azaltmaktadır, Tablo 3'te görüldüğü gibi H_2O_2 oranının %1 ila %5 arasında olması ile numunelerin genleşmesinden kaynaklı ortalama ağırlıklar referans numunede 307,25 gram iken H_2O_2 oranına bağlı olarak diğer numunelerde azalmaktadır,

Tablo 3, Macun ve Harç Numunelerin Test Sonuçları

Numune No	H_2O_2 (%)	Ortalama Ağırlık (gr)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Macun 1	*0%* (referans)	307,25	3,90	8,60
Macun 2	1	247,25	1,02	5,90
Macun 3	2	217,65	1,38	6,23
Macun 4	3	212,13	1,56	6,58
Macun 5	4	208,57	0,78	5,61
Harç 1	*0%* (referans)	441,77	18,59	12,18
Harç 2	1	227,55	3,68	3,64
Harç 3	2	211,40	3,51	4,60
Harç 4	3	209,07	2,86	4,54
Harç 5	4	206,07	3,47	3,81



Şekil 9, 400°C Sıcaklığa Kadar DTA, TG, DTG Analizi

SONUÇLAR

Öğütülmüş ham perlit hafif yalıtım malzemeleri üretiminde kullanımı yaygınlaşırken, hafifliği, dayanımı ve çevresel etkiyi artırmak amacıyla yapılan araştırmalar önem kazanmaktadır, Ham perlitin NaOH ve Na_2SiO_3 gibi alkali aktivatörler ila aktive edilmesi çimentosuz yapı elemanı açısından önemli çevresel etkiler yapmaktadır, Buna ek olarak elde edilen macun ve harçların H_2O_2 ile optimum genleşme performansının artırılması ve mekanik

özelliklerinin belli korunması önem arz etmektedir, Bu çalışmada, 4 farklı H_2O_2 oranı kullanılarak elde edilen macun ve harç numunelerin basınç, eğilme testleri gerçekleştirmiştir, Numuneler ayrıca tartılarak birim hacim ağırlıkları karşılaştırılmıştır, Elde edilen önemli sonuçlar aşağıdaki gibidir,

H_2O_2 ilavesi ile ham perlit içinde oluşan hava boşlukları yapı içinde hapsolduğu için genleşme meydana geliyor, H_2O_2 oranı %1-%3'e kadar yapı bütünlüğü açısından iyi performansı gösterirken, %4'lük ilavenin aşırı şişmeye neden olduğu ve şekilsel bozukluklara neden olduğu tespit edilmiştir,

Basınç testi sonucunda H_2O_2 içermeyen harç numunesinin dayanımın macundan yüksek çıkmıştır, Fakat H_2O_2 ilave edilmiş numunelerin hepsinde macunların basınç dayanımı harçlardan daha yüksek çıkmıştır, Buda hem hafif hem de daha iyi basınç dayanımına sahip hafif yapı elemanı için macunun daha avantajlı olduğunu göstermektedir, H_2O_2 ilavesi ile macunlar ile harçlar arasındaki basınç farkı %60 civarında olmuştur, %3 H_2O_2 ilavesi ile iyi bir genleşme sağlayan macunda %6,23 MPa ve harçta %3,81 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir,

Eğilme dayanımı davranışı basınç dayanımının tam tersi olmuştur, Eğilme dayanımı hem referans hem de H_2O_2 ilaveli numunelerde harç numunelerin daha üstünlüğü ile neticelenmiş, Referans numunelerde macunun eğilme dayanımı 3,90 MPa olurken, harç numunesi 10 MPa kadar çıkmıştır, %4 H_2O_2 ilavesi ile macundaki eğilme dayanımının 0,78 MPa kadar düştüğü fakat harç numunesinin 3,26 MPa kalması önemli bir farktır, İyi bir genleşme ve düzgün yapı elemanı göz önüne alındığında %3 H_2O_2 ilavesi ile harç numunesinde eğilme dayanımın 3,47 MPa olduğu görülmektedir,

Hafif yapı elemanı söz konusu olduğunda birim hacim ağırlık çok önemli bir parametredir, Genel olarak H_2O_2 ilavesi ile birim hacim ağırlığının hem macunda hem de harçta düştüğü görülmektedir, H_2O_2 ilavesi %2-%4 arasında bütün numunelerde birim hacim ağırlıklarının 1 gr/cm^3 olduğu görülmektedir,

TGA Analiz sonuçları incelendiğinde numunenin kütle kaybına uğradığı sıcaklık derecelerinin 80°C, 180°C ve 400°C seviyelerinde görülmektedir, 50°C ile 100°C arasında ve 150°C ile 200°C arasında egzotermik durumlar gerçekleşmiş ve bu durumlarda kütle kaybı görülmüştür,

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir,

KAYNAKLAR

Alves, C,, Pelisser, F,, Labrincha, J,, & Novais, R, (2023), Effect of Hydrogen Peroxide on the Thermal and Mechanical Properties of Lightweight Geopolymer Mortar Panels, *Minerals*, 13(4), 542, doi:https://doi,org/10,3390/min13040542,

Bai, C,, & Colombo, P, (2018), Processing, properties and applications of highly porous geopolymers: A review, *Ceramics International*, 44(14), 16103-16118, doi:https://doi,org/10,1016/j,ceramint,2018,05,219,

Chen, M,, Liu, P,, Kong, D,, Wang, Y,, Wang, J,, Huang, Y,, Wu, N, (2022), Influencing factors of mechanical and thermal conductivity of foamed phosphogypsum-based composite cementitious materials, *Construction and Building Materials*, 346, 128462, doi:https://10,1016/j,conbuildmat,2022,128462,

Ducman, V,, & Korat, L, (2016), Characterization of geopolymer fly-ash based foams obtained with the addition of Al powder or H_2O_2 as foaming agents, *Materials characterization*, 113, 207-213,

Esmaily, H,, & Nuranian, H, (2012), Non-autoclaved high strength cellular concrete from alkali activated slag, *Construction and Building Materials*, 26(1), 200-206,

Hermann, D, T,, Tome, S,, Shikuku, V, O,, Tchuigwa, J, B,, Spieß, A,, Janiak, C,, Joh Dina, D, D, (2022), Enhanced performance of hydrogen peroxide modified pozzolan-based geopolymer for abatement of methylene blue from aqueous medium, *Silicon*, 14(10), 5191-5206,

Łach, M,, Korniejenko, K,, & Mikuła, J, (2016), Thermal insulation and thermally resistant materials made of geopolymer foams, *Procedia Engineering*, 151, 410-416, doi:https://doi,org/10,1016/j,proeng,2016,07,350,

Li, S,, Li, H,, Yan, C,, Ding, Y,, Zhang, X,, & Zhao, J, (2022), Investigating the Mechanical and Durability Characteristics of Fly Ash Foam Concrete, *Materials*, 15(17), 6077, doi:https://doi,org/10,3390/ma15176077,

Li, T,, Wang, Z,, Zhou, T,, He, Y,, & Huang, F, (2019), Preparation and properties of magnesium phosphate cement foam concrete with H_2O_2 as foaming agent, *Construction and Building Materials*, 205, 566-573, doi:https://doi,org/10,1016/j,conbuildmat,2019,02,022,

McLellan, B, C,, Williams, R, P,, Lay, J,, Van Riessen, A,, & Corder, G, D, (2011), Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement, *Journal of Cleaner Production*, 19(9-10), 1080-1090,

Novais, R, M,, Buruberri, L,, Ascensão, G,, Seabra, M,, & Labrincha, J, (2016), Porous biomass fly ash-based geopolymers with tailored thermal conductivity, *Journal of Cleaner Production*, 119, 99-107,

Provis, J, L,, Palomo, A,, & Shi, C, (2015), Advances in understanding alkali-activated materials, *Cement and Concrete Research*, 78, 110-125,

Şahin, M,, Erdoğan, S, T,, & Bayer, Ö, (2018), Production of lightweight aerated alkali-activated slag pastes using hydrogen peroxide, *Construction and Building Materials*, 181, 106-118, doi:https://doi,org/10,1016/j,conbuildmat,2018,05,267,

Tamošaitis, G,, Vaičiukynienė, D,, Jaskaudas, T,, Mockiene, J,, & Pupeikis, D, (2023), Development of alkali-activated porous concrete composition from slag waste, *Materials*, 16(4), 1360, doi:https://doi,org/10,3390/ma16041360,

Tan, T, H,, Shah, S, N,, Ng, C, C,, Putra, A,, Othman, M, N,, & Mo, K, H, (2022), Insulating foamed lightweight cementitious composite with co-addition of micro-sized aerogel and hydrogen peroxide, *Construction and Building Materials*, 360, 129485, doi:https://doi,org/10,1016/j,conbuildmat,2022,129485,

Yang, K,-H,, Song, J,-K,, & Song, K,-I, (2013), Assessment of CO2 reduction of alkali-activated concrete, *Journal of Cleaner Production*, 39, 265-272, doi:https://doi,org/10,1016/j,jclepro,2012,08,001,

Zhang, D,, Ding, S,, Ma, Y,, & Yang, Q, (2022), Preparation and Properties of Foam Concrete Incorporating Fly Ash, *Materials*, 15(18), 6287, doi:https://doi,org/10,3390/ma15186287,