

## Perlitin puzolanik aktivitesi

Ülger BULUT\*, Leyla TANAÇAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilimleri Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

*Sürdürülebilir yapı üretimi bilincinin, yapı malzemesi üretiminden başlayarak dikkate alınması gerekir. Günümüz yapı üretiminde yaygın olarak tüketilen çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkileri değerlendirildiğinde, alternatif malzeme-bağlayıcı araştırmaları gereği ortaya çıkmaktadır. En eski yapı malzemelerinden olan puzolanlı kireç harçlarının yüksek durabilite özelliklerine karşın, ortam sıcaklığında kürlendiklerinde yavaş dayanım kazanmaları, kullanımlarının azalmasına neden olmuştur. Ülkemizdeki rezervleri göz önüne alındığında, perlitin yapı malzemesi alanında kullanım olanaklarının araştırılmasının gereği ortaya çıkmaktadır. Perlitin puzolanik özelliğinden yararlanılarak kullanılması olanaklarının araştırılması ve kullanımının yaygınlaştırılması bu çalışmanın ana amacıdır. Bu amaca yönelik olarak, perlitin puzolanik aktivitesine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelerin, aktiviteyi artırıcı yönde geliştirilmesi olanakları, deneysel yöntemler ile araştırılmıştır. Saptanan en uygun kompozisyonlar üzerinde puzolanik aktiviteyi geliştirecek yöntemlerin belirlenmesi, katkı maddeleri ile puzolanik etkinliğin geliştirilmesi olanakları incelenmiştir. Bu amaçla üretilen numune türleri üzerinde ultrases geçiş hızı ile eğilme ve basınç dayanımı deneyleri ölçüt olarak kullanılmıştır. Deneye dayalı bu araştırma ile elde edilen bulgular ve bu bulguların değerlendirilmesi sonucunda, perlitin puzolanik aktivite gösterdiği kanıtlanmış, perlitli kireç harcının aktivite gelişimini etkileyen faktörler belirlenmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak perlitin puzolan malzeme olarak geliştirilebilme potansiyeli olduğu saptanmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Puzolanik aktivite, perlit, kireç harcı.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ülger BULUT ulgerbulut@hotmail.com; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Programı Yapı Bilimleri Programında tamamlanmış olan "Perlitin Puzolanik Aktivitesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.12.2007 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 30.01.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Pozzolanic activity of perlite

### Extended abstract

*The consciousness of sustainability in the production of buildings should be considered beginning from building materials production. From the raw material process to recycling, whole phases of a sustainable material should be fit to ecological criteria. Fewer amounts of embodied energy and diffusion of harmful gas emission are priority criteria for whole phases. When the high cost and the negative environmental affects of the frequently used material cement is considered, the certain need for a research of an alternative adherent material appears. Although, one of the oldest construction materials; pozzolanic lime mortars, have high durability, the long term strength development caused to decrease of its usage. Although lime mortars have considerable durability, they present lower strengths than cement mortars and take longer to reach them.*

*In this context, one of the aims of this study is to encourage the widespread use of lime mortars in construction. The other aim is to utilize perlite as a building material without expansion which is the general case in the construction praxis. In this study, determining the parameters of perlite effecting pozzolanic activity, and developing these parameters on increasing the features of activity, has been the main objective. Determination of the methods to develop increase of the pozzolanic activity on the most convenient compositions and the effectiveness of pozzolanic activity with additives is studied. Flexural strength, compressive strength and ultrasound velocity of the specimens, the slump test of wet mortar has also been done to determine the minimum required strength durability of the perlite- lime mortar. In order to increase the pozzolanic activity of raw (crude) perlite, several methods were studied: the effect of mixture proportions (lime /lime +pozzolan ratio, water/binder ratio, additive type and amount) curing time and curing conditions.*

*The lime/ lime + pozzolan ratio shows a large effect on the strength of lime-pozzolan cement. If less lime is added, the hydration products produced are insufficient to fill the voids and bind particles together; the paste shows low strength. In contrast, if too much lime is added, the extra lime will exist in a free state which does not have any binding ability and thus decreases the strength of the paste. For researching different lime/ lime+pozzolan ratio 5 specimens were examined. The highest strength and*

*ultra sound velocity obtained with 67% lime/ lime + pozzolan ratio, which defined on TS 25. By evaluating reference specimen's plastic consistency, for researching different water/binder ratio, increasing the water ratio was preferred. Because decreasing the water/binder ratio was not convenient for mortar workability. All other mortar components ratios were kept the same with reference specimens. So, 3 specimens were tested. Test results showed that, while porosity increased, strength and ultrasound velocity decreased, by increasing the water amount. The highest strength and ultra sound velocity obtained with 50%, water/binder ratio which defined on TS 25. To determine the effect of the additives  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  2% and 4% ratio were produced for compare the reference specimen. Although  $\text{CaCl}_2$  additive obtained high strength than reference specimens with both ratios, 4% ratio obtained the highest strength. While 2%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additive decreased the strength, on the contrary 4%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  additive obtained high strength than reference specimen but not higher than 4%  $\text{CaCl}_2$  additive specimen.*

*Investigating the effect of the curing temperature, specimens were cured at 23, 55 and 65°C while all mortar components ratio were kept the same with reference specimens. Curing at 23°C is not enough to achieve adequate strength development. While the highest ultra sound velocity obtained with curing at 65°C; the highest strength obtained with curing at 55°C which defined on TS 25. The last parameter which is dealt with in this study is curing time. Curing time were determined by specimens which were cured 7, 14, 28 days at 55°C. All these specimens had the same components ratio with reference specimens. Test results showed that, strength development parallel to curing time.*

*Experiments indicate that, the mortar components, which mean pozzolan ratio and water ratio, additive types and their ratio affect the mortar strength. On the other hand curing conditions, which mean curing temperature and curing time, also effect the strength development. It is determined that, pozzolanic reaction keeps on by the curing time. The results of this experimental study indicate that the prepared mortars are convenient for restorations of historical lime based masonry and brick.*

**Keywords:** Pozzolanic activity, perlite, lime mortars.

## Giriş

Günümüzde puzolanlar, düşük hidratasyon ısısı, yüksek nihai dayanım, düşük geçirimsizlik (permeabilite), yüksek sülfat dayanımı ve düşük alkali-silika tepkimesi gibi yararları nedeniyle harç ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Puzolanik malzemelerin kullanımı, çimento endüstrisinde enerji korunumu ve çevresel etki, beton yapıların durabilite ve yaşam dönemi maliyeti (life cycle cost) bakımından önem taşımaktadır.

Volkanik tüf bakımından zengin olan Türkiye’de, bu tüflerin bazıları puzolan olarak yerel çimento fabrikalarınca portland çimentosu üretimi sürecinde çimentoya katılmaktadır (Turanlı ve diğerleri, 2004). Okucu (1998), zeolitik ve perlitik tüflerin çimento katkısı olarak kullanılabilirliklerini incelediği çalışmada, perlitik tüflerin öğütülmesindeki güçlüğü rağmen yüksek puzolanik aktivite gösterdiklerini belirlemiştir. Türkiye, dünya genelinde perlit rezervi bakımından ABD ve Yunanistan’dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır (<http://minerals.usgs.gov>). Bu durum, perlitin yapı malzemesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması için önemli bir nedendir.

Perlit, mineralojik karakter bakımından %3-10’u kristalleşmiş mineraller olan ve obsidyen parçacıkları içeren asidik karakterli volkanik bir camdır; ısıyla genleşme özelliği olan malzeme genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçer. Yapı sektöründe sıva, beton agregası ve yalıtım malzemesi üretiminde kullanılmakta olan genişletilmiş perlitin üretiminin enerjiyoğun bir süreç olması nedeniyle, perlitin genişletilmeden değerlendirilerek puzolanik özelliğinden yararlanılması gerekliliğinden söz edilebilir.

Puzolan olarak kullanılan malzemenin kimyasal içeriği, puzolanik aktivite üzerinde etkilidir. Puzolanik malzemenin içeriğinde yüksek oranda bulunan ve puzolanik tepkimedeki temel elementlerden olan silis taneciklerinin amorf kristal yapısı puzolanik etkinliğe tesir eden faktörlerden biridir. Urhan (1991)’a göre, kristalin yapıda atom örgüleri düzgün ve sık olduğundan çözümleri güçtür. Buna karşın, camsı yapıda

atom örgüleri hem daha aralıklı hem de daha bozuktur. Dolayısıyla camsı bir kayaç olan perlitin yüksek oranda amorf silika içermesi, puzolanik aktivitesi açısından olumlu bir niteliktir. Kireç-puzolan harçları mukavemetinde, kireç-puzolan oranı önemli bir etkidir. Harçta, kirecin yetersiz olduğu durumda, hidratasyon ürünleri boşlukları doldurma ve partikülleri bağlamada yetersiz kalacak; harç düşük dayanım gösterecektir. Harçta kirecin fazla olması durumunda ise, bağlayıcılık işlevi gösteremeyecek olan kireç serbest halde harç bünyesinde kalarak dayanımda düşmeye neden olacaktır. Lea (1970), kireç: puzolan oranı 1:2 olan harcın, 1:4 olandan daima yüksek dayanım gösterdiğini saptamıştır.

Mekanik yöntem, bileşenlerin özgül yüzeyini artırmak ve böylece hidratasyon oranını hızlandırmak için kullanılır. Ancak, Higginson (1970)’a göre bu yöntem, erken dayanım için olumlu sonuç verirken, geç dayanım değerinde katkı sağlayamamaktadır. Tersine, puzolanın dane inceliğinin yüksek olması su gereksinimini artırıp geç dayanım değerinde azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca, yeterli inceliğin sağlanması için ilave enerji harcanması gerekmektedir.

Shi ve Day (2001)’e göre,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  kullanılan harçların farklı sıcaklıklarda erken ve son ürün dayanımlarında artış ve katı harcın içeriğindeki  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tüketiminde hızlanma görülmüştür. Katkı maddelerindeki  $\text{Na}^{+2}$  ve  $\text{Ca}^{+2}$  iyonlarının silis ile tepkime verme eğilimi (afinite) yüksektir. Bu iyonlar, silis atomunun bağlarının zayıflaması ile oluşan  $\text{Si}(\text{OH})^{-5}$  ve  $\text{Si}(\text{OH})^{-6}$ ’ların negatif yüklerini nötralize ederek kalsiyum silikatlar oluşturur. Dolayısıyla  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  katkıları, elde edilen harcın mukavemetini artırıcı ve sertleşme süresini hızlandırıcı bir etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, kirece hidrolitik bir yapı kazandırmak, dayanımını artırmak ve son ürün dayanımının daha kısa sürede elde edebilmesini sağlamak amacıyla ham perlitin puzolanik malzeme olarak kirece katılması ve puzolanik aktivitesinin araştırılması birinci ilke olarak; ham perlit ile kazanılan bu aktivitenin geliştirilmesi

koşullarının araştırılması ise ikinci ilke olarak benimsenmiştir.

### **Malzeme ve yöntem**

Perlit-kireç harcının puzolanik aktivitesinin geliştirilmesinde etkin faktörlerin belirlenmesi için:

- harcı oluşturan bileşenlerin özellik ve oranlarının;
- harcın kür koşulları ve kür süresinin etkisinin ve etkinlik düzeyinin araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, sözü edilen bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde, TS 25 standardı uyarınca oluşturulmuş harç karışımları (tüm çalışmada "P-55-7" olarak anılacaktır) "referans numune" olarak kabul edilmiştir. TS 25'te tanımlı değerlendirme ölçütü olan eğilmede çekme ve basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, taze harcın işlenebilme özelliğinin belirlenmesi için ise, TS EN 12350-5'e göre yayılma tablası deneyi; numunenin boşluk yapısının belirlenebilmesi için ultrases hızı ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde, puzolan olarak ham perlit, bağlayıcı olarak söndürülmüş kireç, agrega olarak standart kum, karışım suyu ve numune grubuna göre  $CaCl_2$  ve  $Na_2SO_4$  katkıları kullanılmıştır.

### **Ham maddeler**

Bu çalışmada, deney numunelerinin üretildiği harcın bileşenleri olan kireç, perlit, kum, su ve katkıları hammadde olarak kabul edilmiştir.

### **Kireç**

Harç üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan sönmemiş kireç ( $CaO$ ), 1 kg'ı için 2.3 kg su ile söndürülmüş; karışım kabının ağzı kapatılarak 15 gün süre ile dinlenmeye bırakılmış; ardından kalıntı ve sönmemiş kireç parçası olmaması için  $600 \mu m$ 'luk elekten geçirilmiştir. Numune hazırlanmasında, sönmüş kireç içindeki su miktarı tespit edilip, bu miktar, karışıma girecek toplam su miktarından eksiltiştir. Söndürülmüş kirecin özgül ağırlığı TS 639'a göre yapılan deney ile  $2.39 \text{ gr/cm}^3$  olarak bulunmuştur.

### **Perlit**

Bu çalışmada puzolan malzeme olarak, İzmir Etibank Perlit İşletmeleri'nden alınan, kırılıp

elenmiş ham perlitin geliştirilmesi sürecinde toz tutma filtrelerinde tutulan yan ürün kullanılmıştır. Maksimum dane boyutu 0.3 mm olan bu malzeme, inceliğinin artırılması için öğütülmüştür. Öğütülme işlemi, 3 kg perlit için çelik bilyeli değirmenin 20 saat sürede gerçekleşmiş; perlit, TS 25 standardı uyarınca,  $90 \mu m$ 'luk elek üzerinde en çok %8 kalıntı bırakacak incelikte öğütülmüştür. Perlitin öğütülmesinin güçlüğü, elde edilecek son ürünün oluşum enerjisini (embodied energy) artırması nedeniyle bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Harç üretiminde kullanılan perlite ait kimyasal analiz, kızdırma ve rutubet kayıpları ile özgül ağırlık ve özgül yüzey deneyleri sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

### **Kum**

Puzolanik aktivite deneyinde TS EN 196-1'e uygun standart kum kullanılmıştır. Kimyasal analizi ve TS 639'a göre yapılmış deney sonucunda bulunmuş olan özgül ağırlığı Tablo 1'de verilmiştir.

### **Su**

Numunelerin üretiminde zararlı olabilecek organik madde ve madensel tuzlar içermeyen İstanbul şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

### **Katkılar**

Perlitin puzolanik aktivitesinin artırılması amacıyla, (perlit+kireç) miktarı ağırlıkları toplamının %2 ve %4'ü kadar harç karışım suyunda çözelti haline getirilen  $CaCl_2$ , (kalsiyum klorür) ve aynı oranlarda  $Na_2SO_4$  (sodyum sülfat) katkıları kullanılmıştır.

### **Deney numunelerinin hazırlanması**

Numunelerin üretiminde harç hazırlanırken öncelikli olarak kuru ve daneli yapıdaki kum ile perlit karıştırılmış, ardından su ile söndürülmüş kaymak kireç, su ve katkı maddeleri eklenmiştir. Harç, elektrikli mikser ile 3 dakika karıştırılarak homojen karışım elde edilmiştir.

Perlitin puzolanik aktivitesi, Tablo 2'de verilen malzeme ve miktarları ile TS 25'e göre hazırlanan harç numuneleri ile araştırılmıştır. Perlitin

Tablo 1. Perlitin, kumun özellikleri ve TS 25'e göre puzolan için sınır değerleri

	TS 25	Ham Perlit	Standart Kum
SiO <sub>2</sub> (%)		74.41	92.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	≥70	12.60	2.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)		0.80	0.43
MgO (%)	≤5.0	-	0.03
SO <sub>3</sub> (%)	≤3.0	-	0.07
Na <sub>2</sub> O (%)	-	3.08	0.93
K <sub>2</sub> O (%)	-	4.40	1.3
CaO (%)	-	-	0.2
Kızdırma kaybı (%)	≤5	3.79	0.55
Rutubet kaybı (%)	≤10	0.25	-
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	-	2.38	2.36
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	≥3000	5044	-

puzolanik aktivitesinin kanıtlanmasının ardından (Tablo 3), puzolan harcının niteliğinde etkili olabilecek harç karışım oranları ile kür sıcaklığı, kür süresi etkenlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, toplam 20 farklı harç grubu oluşturulmuş ve her bir grup için, 40x40x160 mm boyutlarında 3'er adet numune hazırlanmıştır.

Tablo 2. Puzolanik aktivite deneyi karışım oranları

	TS 25	Deney için alınan değerler
Sönmüş kireç	150 gr	150 gr
Puzolan	2x150x(puzolan özgül ağırlığı/sönmüş kirecin özgül ağırlığı)	2x150x(2.38/2.39) = 298.99 gr
Standart kum	1350 gr	1350 gr
Su	0.5x (150+puzolan)	0.5x(150+298.99) = 224.50 gr

Tablo 3. Puzolanik aktivite deneyi sonuçları ve alt limit değerler ile kıyaslanması

	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
TS 25 (min)	1	4
P-55-7 (ref)	1.58	10.50

**Perlit / bağlayıcı oranı etkisi:** Aktivite deneyindeki perlit miktarının harç dayanımına etki-

sinin tespit edilmesi amacıyla, referans numunedeki perlitin, perlit ve kireç toplamına ağırlıkça oranı %67 olarak belirlenmiştir. Karışımdaki perlitin ağırlıkça azaltılarak bu oranın %60; artırılarak ise %73, %80 ve %87 olması durumlarındaki etkisi araştırılmıştır. Perlitin artırıldığı harçlarda aynı miktarda kireç azaltılmış; perlitin azaltıldığı harçta ise, aynı miktarda kireç artırılmış; kum ve su miktarları sabit tutulmuştur.

**Su/bağlayıcı oranı etkisi:** Karışım suyu miktarının puzolanik aktivite üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, aktivite deneyindeki referans harcın ağırlıkça % 50 olan su/bağlayıcı oranı %60 ve 70 olarak artırılmış, karışıma katılan diğer bileşenlerde değişiklik yapılmamış, perlit/bağlayıcı oranı (%67), kür sıcaklığı (55°C) ve kür süresi (7 gün) sabit tutulmuştur.

**Katkı tür ve oranları etkisi:** Harca eklenecek CaCl<sub>2</sub> (kalsiyum klorür) ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sodyum sülfat) katkılarının miktarları etkinliklerinin araştırılabilmesi için, harçtaki perlit ve kireç miktarının ağırlıkça toplamalarının %2 ve %4

oranlarının denenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, katkı tür ve oranları dışında, perlit/bağlayıcı oranı (%67), su/bağlayıcı oranı (%50), kür sıcaklığı (55°C) ve kür süresi (7 gün) sabit tutulmuştur.

**Kür sıcaklığının etkisi:** Kürleme sıcaklığının aktivasyonu olumlu etkilediği ve ortam sıcaklığında kireç esaslı harçların geç dayanım kazandıkları bilindiğinden, kür sıcaklığının puzolanik aktivite üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, 23°C’de ortam koşullarında, referans numunenin kürlendiği 55°C’de ve bu sıcaklık artırılarak 65°C’de kürleme yapılmıştır. Bu numune gruplarında sıcaklık haricinde perlit-kireç oranı (%67), su/bağlayıcı oranı (%50) ve kür süresi (7 gün) sabit tutulmuştur.

**Kür süresinin puzolanik aktiviteye etkisi:** Kür süresinin puzolanik aktiviteye etkisinin araştırılması amacıyla, 55°C’de 7, 14 ve 28 gün süre ile kürlenen 3 numune grubu oluşturulmuştur. Bu numune gruplarında sıcaklık (55°C), perlit-kireç oranı (%67), su/bağlayıcı oranı (%50) sabit tutulmuştur.

### Deney sonuçları ve değerlendirmesi

Perlitin puzolanik aktivitesinin kanıtlanması ve geliştirilebilmesi ile ilgili yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 4’te özetlenmiştir.

### Harç bileşenlerinin tür ve oranlarının puzolanik aktiviteye etkisi

- Farklı [Puzolan/(Bağlayıcı+ Puzolan)] oranlarından en yüksek basınç dayanım değerini

perlit oranı %67 olan numune grubu vermiştir. Bu oranda, puzolanik tepkimeye giren perlitteki amorf silis ile kireçteki kalsiyumun, harç bünyesinde C-S-H ve C-H-A yapılarını oluşturduğu söylenebilir. Perlit oranının %67’ye göre artırılıp eksiltilmesi basınç dayanımında olumlu bir gelişme yaratmamıştır. Öte yandan, en yüksek basınç dayanımını veren referans numunenin eğilme dayanımı diğerleri içerisinde en düşük olanıdır. En yüksek ultrases geçiş hızı, basınç dayanımında olduğu gibi % 67 perlit oranı içeren referans numunesine aittir. Numune içinde ses geçiş hızını azaltacak boşlukların diğer numune gruplarına kıyasla daha az olması nedeniyle basınç dayanımı da daha yüksektir (Şekil 1 ve 2).

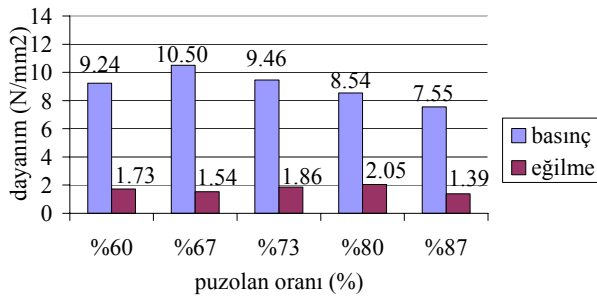
- Farklı (Su/ bağlayıcı) oranlarının harcın puzolanik aktivitesi üzerindeki etkisinin araştırılmasında, ağırlıkça %50 oranındaki referans numune harcının işlenebilir ve kuru plastik kıvamda olması nedeniyle su oranının azaltılması düşünülmemiştir. Harç suyu miktarının %10 ve %20 oranında artırılması denendiğinde ise kıvam akıcılığa doğru gelişmiştir ve harç numunesi bünyesindeki suyun kurumması sonucunda numune kesitinde boşluklu yapının gittikçe arttığı, ultrases hızı

Tablo 4.Deney sonuçları

Sıcaklık (°C)	Numune kodlarının açıklaması	Kür süresi (gün)	Numune kodu	Ses geçiş hızı (km/sn)	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
55		7	P-55-7 (ref)	3.21	1.58	10.50
55	TS25'te tanımlı karışım	14	P-55-14	3.18	1.80	11.59
55		28	P-55-28	3.03	2.13	13.00
55	ağırlıkça %10 perlit eksiltmesi	7	P60-S50-55-7	2.81	1.73	9.24
55	ağırlıkça %10 perlit artışı	7	P73-S50-55-7	3.15	1.86	9.46
55	ağırlıkça %20 perlit artışı	7	P80-S50-55-7	3.13	2.05	8.54
55	ağırlıkça %30 perlit artışı	7	P87-S50-55-7	2.88	1.39	7.55
55	ağırlıkça %10 su artışı	7	P67-S60-55-7	3.03	1.51	9.03
55	ağırlıkça %20 su artışı	7	P67-S70-55-7	2.87	1.45	6.52
55	ağırlıkça %2 CaCl <sub>2</sub> katkısı	7	2C-55-7	2.92	1.83	10.98
55	ağırlıkça %2 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> katkısı	7	2N-55-7	2.80	1.71	9.03
55	ağırlıkça %4 CaCl <sub>2</sub> katkısı	7	4C-55-7	3.25	2.09	11.64
55	ağırlıkça %4 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> katkısı	7	4N-55-7	3.40	2.72	12.57
23	ortam sıcaklığında kürleme	7	P-23-7	1.27	0.16	1.19
65	kürleme sıcaklığında artış	7	P-65-7	3.27	1.75	10.14

geçiş hızının düştüğü ya da geçiş süresinin uzadığı, eğilme-basınç dayanımlarının da düştüğü belirlenmiştir (Şekil 3 ve 4). Dolayısıyla buradaki bulgular da çalışmada kullanılan su ve perlit oranının sırasıyla %50 ve %67 olmasını destekler niteliktedir.

- Katkı maddeleri olan kalsiyum klorür ve sodyum sülfatın %2 ve %4 oranlarında kullanılmasıyla referans numuneye kıyasla daha plastik bir kıvamda taze harç elde edilmiştir. 55°C kür koşullarında, su ile iyonlaşan alkali ler yani,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  katkılarındaki  $\text{Ca}^{++}$  ve  $\text{Na}^{++}$ , silikat tepkimesinin silisik asit evresinde  $\text{Si}(\text{OH})^{-5}$  ve  $\text{Si}(\text{OH})^{-6}$  nın nötrleşmesi ve kalsiyum silikatların oluşmasını sağlayarak dayanımı artırmıştır.  $\text{CaCl}_2$  katkısı her iki oranda da referans numuneye nazaran basınç dayanımını gittikçe artırırken; sodyum sülfat katkısı %2 katkı oranında basınç dayanımını düşürmüştü, ancak %4 katkı oranında deney grubu kapsamında üretilen aynı kür sıcaklığı ve kür süresinde en yüksek değerin elde edilmesini sağlamıştır. Ultrases hızında da basınç dayanımındaki değişimlere paralel sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 1. Perlit/bağlayıcı oranının dayanıma etkisi

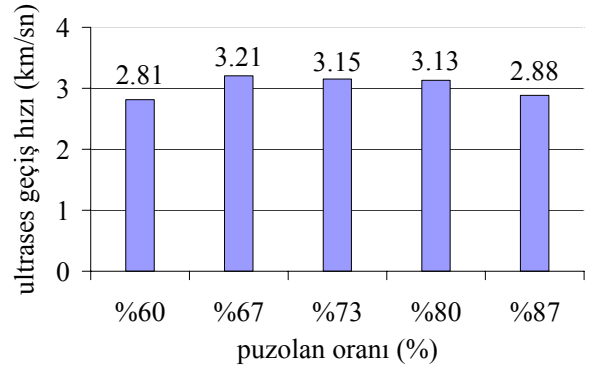
#### Kür sıcaklığının puzolanik aktiviteye etkisi

- 23°C de ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımları, TS 25'te tanımlı alt sınır değerlerini sağlayamamıştır. Ancak, bu değerlerin kireç harcı ile kıyaslanması ve durabilite özelliklerinin belirlenerek puzolanik kireç harcı olarak kullanım olanaklarının araştırılması gerekli görülmüştür.
- 65°C'de kürlenmiş numuneler, tüm ön deney numuneleri içinde en yüksek ultrases geçiş

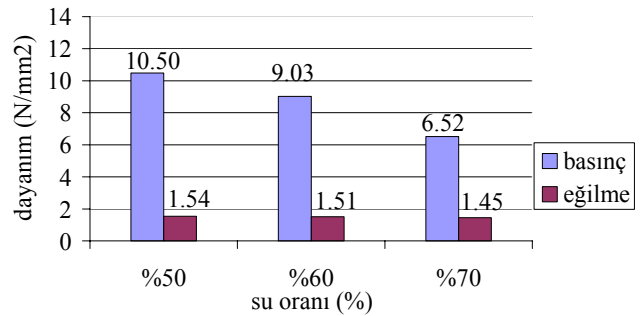
hızını vermiştir. Buna karşın, dayanım değerlerinde referans numuneye kıyasla artış eğilimi görülmemiştir.

#### Kür süresinin puzolanik aktiviteye etkisi

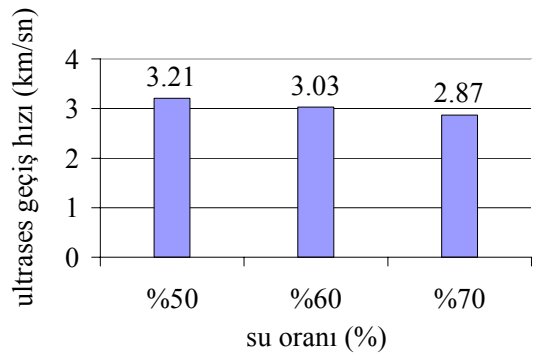
- Harç numunelerinin kür sürelerinin artışına paralel olarak dayanım değerlerinde belirlenen artış nedeniyle puzolanik tepkimenin sürdüğü sonucuna varılmıştır.



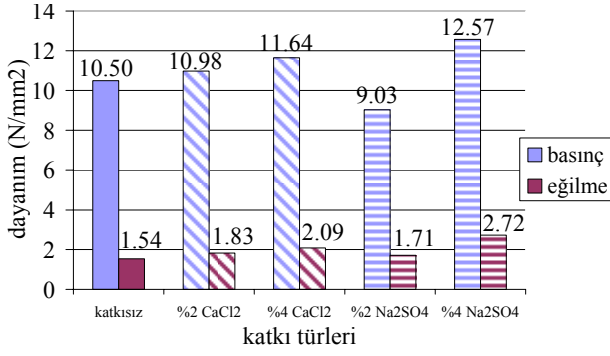
Şekil 2. Perlit/bağlayıcı oranının ultrases geçiş hızına etkisi



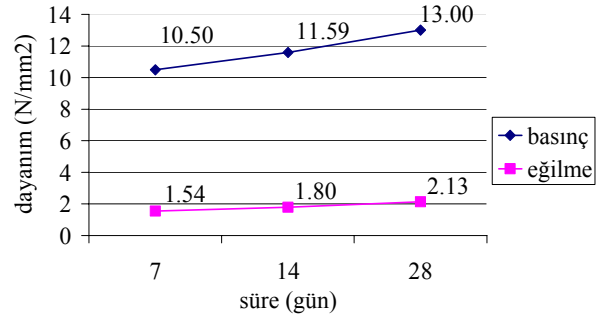
Şekil 3. Su/bağlayıcı oranının dayanıma etkisi



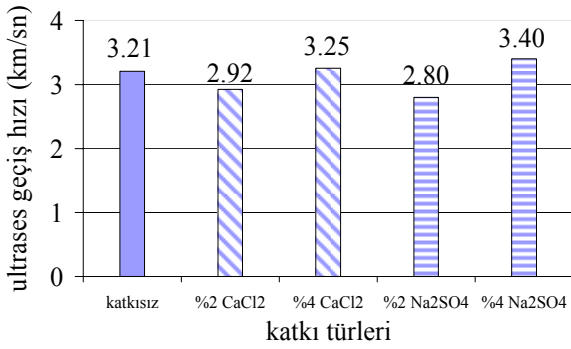
Şekil 4. Su/bağlayıcı oranının ultrases geçiş hızına etkisi



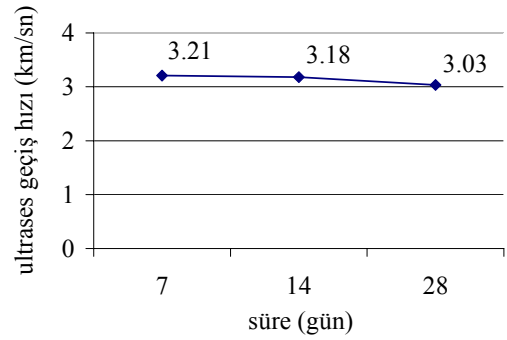
Şekil 5. Katkı türlerinin dayanıma etkisi



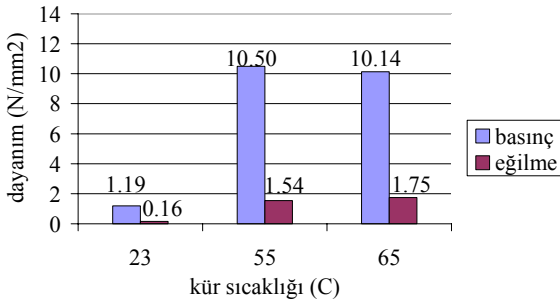
Şekil 9. Kür süresinin dayanıma etkisi



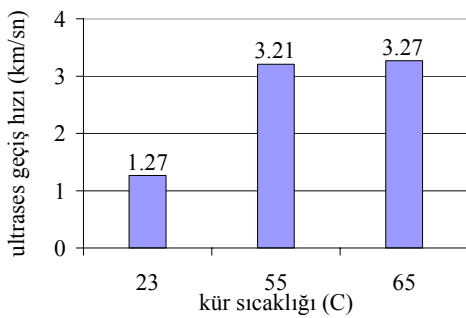
Şekil 6. Katkı türlerinin ultrases geçiş hızına etkisi



Şekil 10. Kür süresinin ultrases geçiş hızına etkisi



Şekil 7. Kür sıcaklığının dayanıma etkisi



Şekil 8. Kür sıcaklığının ultrases geçiş hızına etkisi

## Sonuç

Kirece hidrolik bir yapı kazandırabilmek, dayanımını artırmak ve son ürün dayanımının daha kısa sürede elde edebilmesini sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada öncelikle perlitin puzolanik aktivite özeliği olduğu kanıtlanmıştır.

Bu aktivitenin geliştirilmesi koşullarının araştırılması amacıyla en uygun perlit ve su oranları ile kür sıcaklığı ve süresi parametrelerinin etkileri incelenmiştir.

Perlitli kireç harcı için en uygun perlit ve su oranlarının, TS 25'te tanımlı hesaplama sonucu elde edilen değerler olduğu bulunmuştur. Kür sıcaklığı artışının, perlitin puzolanik aktivitesi üzerinde olumlu etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ortam koşullarında (23°C) kürlenmiş numunelerin temel olarak karbonatlaşma tepkimesi; 55°C'de kürlenmiş referans numunesinin ise silikatlaşma tepkimesi esasına dayanmaları nedeniyle dayanımlarında farklılık belirlenmiştir; ortam koşullarında kürlenmiş numuneler, referans numunesine kıyasla daha düşük dayanım



göstermiştir. Ortam koşullarındaki perlitli kireç harcının 91-180 gibi daha uzun sürelerde 55°C’de kürlenene numunelerle kıyaslanarak gelişmelerinin belirlenmesi yararlı olacaktır.

CaCl<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> katkılarının perlitli kireç harçlarında dayanımı artırdığı görülmüş; bu etkinin 91 ve 180. günlerde göstereceği gelişmenin belirlenmesi yararlı görülmektedir.

Elde edilen bulgulardan, perlitin, puzolanik özeliğinden yararlanılarak çimento ve kireç bağlayıcılar ile birlikte kullanılarak yapı malzemesi olarak geliştirilebilmesi olanaklarının belirlenmesi yararlı olacaktır.

### Kaynaklar

- Erdoğan, T. Y., (2003). *Beton*, METU Press, Ankara.
- Higginson, E.C., (1970). The effect of cement fineness on concrete, *Fineness of Cement*, Stp 473, American Society for Testing and Materials, pp 71-81.
- Lea, F. M., (1970). *The chemistry of cement and concrete*, 3rd Edition, Edward Arnold.

- Okucu, A., (1998). Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri, doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Shi C.; Day R., (2001). Comparison of different methods for enhancing reactivity of pozzolans, *Cement and Concrete Research*, 31, 813-818.
- Turanlı, L., Uzal, B., Bektaş, F., (2004). Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans; *Cement and Concrete Research*, 34, 2277-2282.
- Urhan, S., (1991). Silis in alkali ortamda çözünmesine etki eden faktörler, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Bülteni*, 28, 286, 15-21, Ankara.
- TS 25, (1975). Türk Standartları, Tras, Birinci Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 639, 1975; Türk Standartları, Uçucu Küller, Birinci Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-5, (2001). Beton-taze Beton deneyleri Bölüm 5: yayılma tablası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Birinci Baskı, Ankara.
- TS EN 196-1, (2002). Türk standartları, “çimento deney metotları - bölüm 1: dayanım tayini”, birinci baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

---

<http://minerals.usgs.gov>, (Mayıs 2005’te alınmıştır).