

TEKSTİL FABRİKASI ATIK KÜLÜ VE BAZALTİK POMZA KATKILI TUĞLALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Hanifi BİNİCİ, Hüseyin TEMİZ, Orhan AKSOĞAN* ve Ahmet ULUSOY

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana

hbincici@ksu.edu.tr, htemiz@ksu.edu.tr, aksogan@cu.edu.tr, aulusoy@hotmail.com

(Geliş/Received: 15.10.2008 ; Kabul/Accepted: 30.06.2009)

ÖZET

Tekstil fabrikalarının atığı olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan külün, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu kül ile birlikte, yüksek oranda silisyum içeren ve ülkede çok miktarda bulunan pomzaların da tuğla üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye genelinde birçok bölgede bazaltik pomza rezervi bulunduğu bilinmekle birlikte bunlardan pek azı ticari olarak işletilmekte ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bunun çeşitli sebeplerinden birisi bazaltik pomzanın özellikle iç pazar açısından tüketim alanlarının ve bu alanlarda kullanılan miktarlarının az oluşudur. Bu çalışma ile bazaltik pomzanın yapı malzemeleri sektöründe daha yaygın kullanımıyla Türkiye'deki bazaltik pomza tüketiminin artırılması amaçlanmaktadır. Katkısız ve kül ile pomza katkılı tuğla üretilmiştir. Temin edilen kül, bazaltik pomza ve kilin kimyasal içerikleri ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca tuğlaların değişik iklim koşullarındaki davranışları deneysel olarak ortaya konulmuştur. Tuğla örnekler 700, 900 ve 1050°C sıcaklıkta 8 saat süreyle pişirilmiştir. Üretilen tuğlaların yoğunlukları, zararlı kireç ve magnezi, büzülme, su emme, basınç, eğilme dayanımları, Ultrasonik ses geçiş hızları ve Scanning Electron Microscopy (SEM) taramaları yapılmıştır. Test sonuçları standart değerlerle de karşılaştırılmış ve yeterli düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Tuğla üretiminde 900°C civarında pişirme sıcaklığında atık kül ve pomza kullanılması halinde üstün nitelikte tuğla üretilbileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, atık kül, bazaltik pomza, ultrasonik ses, mikro yapı.

THE ENGINEERING PROPERTIES OF FIRED BRICK INCORPORATING TEXTILE WASTE ASH AND BASALTIC PUMICE

ABSTARCT

Main objective of this study is to use side product of waste ash of textile factory, which also causes environmental pollution, in the production of high strength clay bricks. Beside waste ash, basaltic pumice, which includes high amount of silica and are readily available in our country, used as an additive material in the production of high-strength clay bricks. Turkey has very rich basaltic pumice reserve in various regions and most of them have not been used efficiently. One of the reasons of this is that domestic consumption areas of the basaltic pumice and the amount of usage in these areas have been very low. With this study, consumption of the basaltic pumice in Turkey will be increased by its use in the production of construction materials. So, waste ash and basaltic pumice will have economical value due to their use in construction materials. Basaltic pumice and clay are also readily available in the same region. Chemical and mechanical characteristics of the obtained materials were determined, Clay bricks with/without waste ash and basaltic pumice were produced. Moreover, behavior of clay bricks in different environments were also determined experimentally. Each sample was fired at 700, 900 and 1050°C for 8 h. The bulk density, harmful magnesia and lime, shrinkage, water absorption, compressive and flexural strength, ultrasonic sound velocity and Scanning Electron Microscopy tests were carried out. The test results were compared with the standard values and they were found to be satisfactory. Finally, it was concluded that both waste ash and basaltic pumice were suitable additions and could be used efficiently in fired brick production at 900°C.

Keywords: Fired brick, waste ash, basaltic pumice, ultrasonic sound, microstructure.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de yaklaşık 3 milyar metreküp pomza rezervi bulunmaktadır [1]. Pomzaların tuğla üretiminde kullanımını yeterince araştırılmamıştır. Pomzanın, seramik üretiminde başarılı bir şekilde kullanıldığı ileri sürülmüştür [2]. Tuğlanın esas hammaddesi olan kil belirli oranlarda uçucu kül ile karıştırılarak üretilen tuğlaların pişirme parametreleri araştırılmış ve uçucu külün tuğlaların özelliklerini geliştirdiği anlaşılmıştır [3]. Uçucu kül katkısı sayesinde tuğlaların basınç dayanımları artmış, su emme oranı azalmış, numunelerde çatlak oluşmamış ve donmaya karşı yüksek dayanım elde edilmiştir [4–7]. Kahramanmaraş’ta yeterli kil bulunmaktadır. Yine bölgede özellikle Osmaniye’ye yakın yerlerde bol miktarda (görülür rezervi 2 milyon m³) pomza yatakları mevcuttur [8].

Tuğla üretiminde uçucu kül kullanımının birçok avantajı olduğu literatürden anlaşılmaktadır [9]. Uçucu külün yüksek oranda karbon içermesi sayesinde pişirme ısısı düşmüş ve ısı tasarrufu sağlanmıştır. Tuğla üretiminde uçucu kül kullanımı Almanya, İngiltere ve Çin’de çalışılmıştır.

Kil minerali ihtiva eden, belli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen, şekillenme özelliğine sahip ve 900–1000 °C’de pişirildiğinde, çatlama olmadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla-kiremit hammaddesidir. Tuğla toprağı genellikle illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzları içerir [4]. Kil minerallerinin en önemli özelliği belirli oranda su ile (%25–35) karıştırıldığında plastik hale gelmesi, şekillenebilmesi ve kurutulup pişirildikten sonra dayanıklı bir malzeme yeteneğinin olmasıdır. Aynı çalışmada kil içinde bulunan silisli, demirli ve alkali bileşikler hamurun plastikliğini ve ürünün ateşe dayanma yeteneğini azalttığı belirtilmiştir.

Tuğla hammaddesi olarak kullanılacak olan killerde istenen birtakım fiziksel ve mekanik özellikler vardır. Bu özellikler plastiklik suyu % 25–35, pişme rengi koyu kırmızı (% 5 Fe), tane boyut dağılımı +3 mm’de max. % 1, gerekli su miktarı % 20–30, sertlik 3–5 (Mohs), küçülme hacim kaybı % 6 (rötre), çekme dayanımı, sıcakta ergime ve su emme % 10–18 olarak verilebilir. Tuğla-kiremit üretiminde kullanılan killerin kimyasal yapıları da ÇOK önemlidir. Kimyasal yapıda ortalama % 42–64 SiO₂, % 15–20 Al₂O₃ ve %8 CaO bulunmalıdır. Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) miktarı % 35’in altında % 25–30’dan fazla olmamalıdır [10]. Kalker iri parçalar halinde bulunduğu zaman fırında yanmış kireç, daha sonra da nemin etkisiyle sönmüş kireç haline gelir. Bu durum hacim büyümesine neden olduğundan zararlıdır. Tuğla imalinde kullanılacak hammaddelerde doğal olarak bulunan kum genellikle çok incedir ve taneleri 10–40 mikron

çapında olup gözle görülmez. Miktar olarak % 30–40 civarında bulunup çoğunlukla mika pulları ihtiva eder. Tuğla üretiminde %20–30 kuvars kumu karıştırılır. Demir çoğunlukla demiroksit ve hidratları şeklinde bulunup, kilin kütlesine dağılmıştır. Pişmiş toprak malzemeye kırmızı rengi veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Toplam demir oksit ve hidratları % 8–10’u geçmemelidir. Killerin mavi, yeşil, gri, ve siyah renklerde bulunması çoğunlukla içerdikleri organik madde miktarına bağlıdır. Genellikle sülfat ve klorür tuzlarının % 1,5’in altında bulunması iyi kalitede tuğla ve kiremit üretimi için şarttır. Fazla miktarda bulunan eriyici tuzlar tuğlanın, kullanımda çiçeklenmesi ve yüzeyden dökülmesine yol açabilir [11]. Farklı hammaddelerin tuğla yapımında kullanılabilirliği pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [12, 13, 14].

Kahramanmaraş’ta tekstil fabrikalarının tekstil üretim prosesinde yüksek ısı elde etmek için linyit kömürü yakılmaktadır. Bu kömürlerin külleri daha sonra her fabrika için ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. İldeki tekstil fabrikalarının her yıl yaklaşık 250 bin ton kül atığı oluşmaktadır. Bu çalışmada katkısız, %5, %10 ve %20 atık kül ile pomza hem eşit oranlarda hem de ayrı ayrı katkı tuğlalar üretilmiştir. Pomza pişmiş bir malzeme olduğundan pişirme sıcaklığını azaltacağından önemli enerji tasarrufu sağlayacağı düşünülmüştür. Ayrıca pomza kullanılmasının bir diğer nedeni ise pomzadaki gözenekli yapı ile kil arasında iyi bir aderansın sağlanmasıdır. Ülkemizin pomza rezervlerinin fazla olması tuğla üretiminde de kullanılmasını mümkün kılmıştır.

Tekstil fabrikalarının atığı olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan atık kül ve pomzanın, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılması bu çalışmanın temel amacıdır. Üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile ultrasonik ses geçiş hızları belirlenmiştir. Ayrıca Tuğlaların yüzey özellikleri ve boşluk yapısını incelemek için Scanning Electron Microscopy (SEM) taramaları yapılmıştır.

2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

2.1 Malzemeler (Materials)

Tuğla üretimi için bölgede yüz binlerce ton kil rezervi yer almaktadır. Özellikle Menzelet Barajı alt bölgesinde çok uygun gri kil yatakları ile fabrikanın hemen yanında oldukça hacimli kırmızı kil rezervi mevcuttur. Tuğla üretiminde, Osmaniye bölgesinde yer alan bazaltik pomza (BP), Menzelet Barajı bölgesinin kili ve tekstil fabrikalarının atık külleri (TFAK) kullanılmıştır. Kırmızı ve gri kil ile TFAK ve BP’nın kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan TFAK’nun tane dağılımı lazer ile çimento fabrikasında, killerin tane dağılımı ise standart eleklerde yapılmıştır (Tablo 2 ve 3).

Tablo 1. Kil, BP ve TFAK'ın kimyasal ve fiziksel özellikleri (The chemical and physical properties of Clay, BP and TFAK)

Bileşenler (%)	Kırmızı kil	Gri Kil	BP	TFAK
SiO ₂	60.40	53.59	46.19	34.17
Al ₂ O ₃	17.93	11.92	17.26	18.88
Fe ₂ O ₃	8.24	6.97	11.27	15.13
CaO	1.61	13.97	6.98	20.55
MgO	1.34	6.28	4.25	3.42
SO ₃	-	-	0.05	2.16
Na ₂ O	0.63	1.33	2.06	0.60
K ₂ O	1.56	1.39	2.82	2.02
Kızdırma kaybı	1.20	1.61	5.1	2.10
Özgül ağırlık	2.73	2.65	2.75	2.66
Su emme değeri (%)	32	33	25	22

2.2 Yöntem (Methods)

2.2.1 Üretim işlemi (Production process)

Kil, BP ve TFAK öğütülmüş ve plastik kıvam sağlamak için % 16 ila 18 arasında su katılmış ve yeterli plastikiyet için yoğrularak hamur haline getirilmiştir. Bir gün bekletilen hamur 25 x 25 x 115 mm boyutlarında ahşap kalıplara yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar için standartlarda belirlenen bir numune boyu bulunmadığından önceki çalışmalarda [15] kullanılan boyut seçilmiştir. Hamur kalıplara elle yerleştirilmiş ve homojen bir şekilde sıkıştırma için özen gösterilmiştir. Ön kurutma işlemine girmeden önce numunelerin vakum cihazında havaları alınmıştır. Vakumlama vakum makinesinde her örnek grubu için

bekletilen numuneler etüvde 110 °C'de 5 saat kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda 8 saat süre ile pişirilmiştir. Numune isimleri ve bileşen oranları Tablo 4'te verilmiştir.

2.2.2. Pişirilmiş tuğla örnekler üzerinde yapılan deneyler (The experiments on fired bricks)

2.2.2.1 Testler (Tests)

2.2.2.1.1. Eğilme ve basınç dayanımları (Flexure and compressive strength)

700, 900 ve 1050°C'de üretilen tuğlaların üzerinde standart eğilme ve basınç testleri yapılmıştır (Şekil 1, 2). Ayrıca su emme oranları ve birim hacim ağırlık

Tablo 2. Kırmızı kilin tane dağılımı değerleri (The sieve analysis of clays)

Gri kil		Kırmızı kil	
Elek çapı (mm)	% Geçen	Elek çapı (mm)	% Geçen
0.01	9.78	0.01	8.11
0.1	21.92	0.1	32.45
0.50	27.80	0.50	43.06
0.75	42.53	0.75	64.07
1	54.52	1	74.69
2	64.26	2	80.69
2.4	78.93	2.4	87.82
2.6	84.39	2.6	90.34
2.8	93.03	2.8	94.28
5	97.29	5	97.70
10	100	10	100

15 dk yapılmıştır. Numuneler ön kurutma için oda sıcaklığında 8 saat dinlendirilmiştir. Oda sıcaklığında

değerleri bulunmuştur. Örnekler TS 705 e göre her bir örnekten 3 adet test edilerek ortalaması alınmıştır.

Tablo 3. TFAK'nin tane dağılımı değerleri (The sieve analysis of TFAK)

Elek çapı (μ m)	% Geçen	Elek çapı (μ m)	% Geçen	Elek çapı (μ m)	% Geçen
1	1.78	25	34.99	90	81.96
2	3.79	30	39.93	120	91.73
3	6.31	35	44.59	175	97.76
5	10.52	45	53.12	200	98.70
10	18.24	50	57.08	250	99.63
15	24.31	60	64.46	320	100
20	29.80	80	77.01	350	100

Tablo 4. Numune isimleri ve bileşen oranları (ağırlıkça %) (The name of samples and mixture portions)

Numune adı	TFAK	BP	Kil
5TFAKBP	2,5	2,5	95
10TFAKBP	5	5	90
20TFAKBP	10	10	80
5TFAK	5	-	95
10TFAK	10	-	90
20TFAK	20	-	80
5BP	-	5	95
10BP	-	10	90
20BP	-	20	80
T(Tanık)	-	-	100

Eğilme dayanımları (1.1), basınç dayanımları (1.2) ifadesi ile bulunmuştur.

$$\sigma_E = \frac{3}{2} \left(\frac{P.L}{b.h^2} \right) \quad (1.1)$$

σ_E = Numunenin eğilme dayanımı (kgf/cm²)

P = Kırılma yükü (kgf)

L = Mesnet açıklığı (cm)

b = Numune genişliği (cm)

h = Numune yüksekliği (cm)

$$\sigma = \left(\frac{P_k}{A} \right) . k \quad (1.2)$$

σ = Numunenin basınç dayanımı (kgf/cm²)

P_k = Kırılma anındaki yük (kgf)

A = Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin alanı (cm²)

k = Numunenin biçim katsayısı (0,5 alınmıştır).



Şekil 1 Eğilme test cihazı (The machine of compressive strength test)



Şekil 2. Basınç test cihazı (The machine of flexure strength test)

2.2.2.1.2. Ultrasonik ses geçişi (The ultrasonic sound penetration)

Ultrasonik test cihazı ile genellikle beton ve kayaların ses geçişleri bulunmaktadır. Bu çalışma da ilk defa üretilen tuğlaların ayrıca ultrasonik ses geçiş hızları incelenmiştir. Ultrasonik test cihazının kullanılmasıyla, malzeme içerisine gönderilen P ve S dalgalarının malzemenin bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile malzemenin basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilebilmektedir [16]. Numunenin bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalganın, bloğun diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V = \left(\frac{S}{t} \right) . 10^6$$

Burada; V = Dalga hızı (km/ sn), S = Proplar arası mesafe (Malzeme bloğunun ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, kilometre), t = Dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (sn) [17,18].

Kompozit bir malzeme olan tuğlada karışıma giren malzemelerin kalitesi, karışım oranı, yerleştirilmesi ve pişirilme sıcaklığı tuğla performansına etki eden önemli parametrelerdir. Tuğla kalitesinin artırılması için tuğlanın kalıplanmasında ve pişirilmesinde gelişmiş teknolojilerden yararlanılır. Vakum uygulaması da bu teknolojilerden biridir. Vakum uygulaması ile

tuğla içerisinden, işlenebilirlik için konulmuş olan su ile oluşan hava boşlukları alınır. Böylece karışımın su içeriği azaltılır, daha boşluksuz tuğla elde edilir ve tuğlanın hem fiziksel hem de mekanik özelliklerinin iyileştirilebilir. Tuğla basınç dayanımının belirlenmesinde yapı elemanına zarar vermeyen, uygulaması kolay tahribatsız deney metotları da kullanılmaktadır [19]. Araştırmacılar, Ultrasonik deney metodu sonuçlarının, diğer deney metotları sonuçlarına göre daha güvenilir değerler verdiğini belirtmişlerdir [20]. Bu test için 50x95x195 mm boyutlu standart harman tuğlası üretilmiş ve s mesafesi olarak 50 mm alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Ultrasonik ses deneyi (Ultrasonic test)

2.2.2.2. Mikro yapı (Micro structure)

Seçilmiş tuğla örneklerinin yüzey özellikleri ve boşluk yapısını incelemek için Scanning Electron Microscopy (SEM) taramaları yapılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

3.1. Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları (The results of water absorption and density)

Tablo 5'te, 700 °C'de pişirilen BP katkıli örneklerde katkı oranı arttıkça su emme yüzdeleri düşmüştür. Bunun nedeni BP'nin kristal yapısı ile açıklanabilir. Bulunan değerler TS 705'de verilen değerlerin altında ve TFAK + BP katkıli örneklerin su emme oranları standartta verilen değere yakındır. 900 °C derecede pişirilen örneklerde, katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır. TFAK katkıli örneklerin su emme oranları standartta verilen değerden yüksek bulunmuştur. Su emme oranları bir miktar artmış olsa da %5 ve %10 katkıli örneklerde bu değerler standarda uygundur. BP miktarı arttıkça birim hacim ağırlıkları da artmıştır. TFAK katkıli örneklerde beklendiği gibi katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık düşmüştür. TFAK + BP katkıli örneklerde birim hacim ağırlık, katkı miktarına bağlı olarak düşmüştür.

Su emme değerleri değerlendirilirse;

i-700 santigrat derecede pişirilen örnekler için:

- 1- Pomza katkıli örneklerde katkı oranı arttıkça su emme yüzdeleri düşmüştür. Bunun nedeni pomzanın kristal yapısı ile açıklanabilir. Pomza amorf

bir yapıya sahip olduğundan atomlarının dizilimi düzenli değildir. Yüksek sıcaklıkta çok küçük taneli kristal şeklinde bir birinden bağımsız pomza kristalleri camsı bir yapı oluşturmaktadır. Camsı yapıya sahip bir malzemenin su emmesi doğal olarak düşük düzeyde olacaktır. Bulunan değerler TS 705'de verilen değerlerin altındadır.

- 2- Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkıli örneklerin su emme oranları standartta verilen değere yakındır. Katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır.
- 3- Tekstil fabrikası atık külü katkıli örneklerin su emme oranları standartta verilen değerden yüksek bulunmuştur. Katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Bu değer ortalama %23 tür.
- 4- Kontrol örneğinin su emme oranı standartta uygun bulunmuştur.

ii-900 santigrat derecede pişirilen örnekler için:

1. Pomza katkıli örneklerin su emme yüzdeleri TS 705'de verilen değerlerin altındadır.
2. Pişirme sıcaklığı artınca, su emme oranı da artmıştır. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta pomza bileşenlerinden (magnezyum gibi) bazılarının bu sıcaklıkta yanması sonucu oluşan boşluklardır.
3. Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkıli örneklerde katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Su emme oranları bir miktar artmış olsa da %5 ve %10 katkıli örneklerde bu değerler standarda uygundur.
4. Tekstil fabrikası atık külü katkıli örneklerde de katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır.
5. Kontrol örneğinin su emme oranında çok az bir artış söz konusu olsa da standarda uygundur.

iii-1050 santigrat derecede pişirilen örnekler için:

1. Pomza katkıli örneklerin su emme yüzdeleri TS 705'de verilen değerlerin altındadır.
2. %5 ve %10 tekstil fabrikası atık külü + pomza katkıli örneklerde su emme oranı standarda uygundur.
3. Tekstil fabrikası atık külü katkıli örneklerin su emme değerleri, 900 santigrat derecede pişirilen örneklerin su emme oranlarından daha düşük olmasına rağmen standarda uygun değildir.

Birim Hacim Ağırlığı Değerleri değerlendirilirse;

1. Beklendiği gibi pomza miktarı arttıkça birim hacim ağırlıkları da artmıştır. Bu davranış tüm pişirme sıcaklığı için geçerlidir.
2. Tekstil fabrikası atık külü katkıli örneklerde beklendiği gibi katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık düşmüştür. Bunun nedeni de külün yoğunluğu ile açıklanabilir.
3. Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkıli örneklerde birim hacim ağırlık, katkı miktarına bağlı olarak düşmüştür.

Tablo 5. Su emme ve birim hacim ağırlığı değerleri (The value of water absorption and density)

Örnek	Pişirme sıcaklığı (°C)					
	700	900	1050	700	900	1050
	Su emme (%)			Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)		
5TFAK	22.24	20.53	19.46	1.71	1.71	1.75
10TFAK	23.61	23.76	22.82	1.64	1.65	1.71
20TFAK	26.68	27.05	24.11	1.59	1.55	1.63
5BP	15.77	17.15	17.51	1.80	1.77	1.74
10BP	15.37	17.26	16.79	1.82	1.83	1.79
20BP	14.03	16.79	16.07	1.86	1.88	1.86
5TFAKBP	18.04	18.58	19.43	1.71	1.69	1.63
10TFAKBP	19.12	19.38	20.32	1.63	1.62	1.61
20TFAKBP	21.35	21.34	20.99	1.60	1.56	1.59
T	17.62	17.83	18.85	1.84	1.84	1.74

Sonuçlara göre pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerinin TS 705 standardında, tuğlalar için verilen değerleri sağladığı görülmektedir. Pişirme ısısı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, toplam porozitede meydana gelen artış olarak düşünülmektedir.

Genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça su emme oranları azalmaktadır. Bu daha sıkı bir yapının sonucu olarak açıklanabilmektedir. Bazı örneklerde bu eğilim belirlenememiştir. Örneğin, kül ile pomza katkılı örneklerde bu ilişki görülememektedir. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta pomza bileşenlerinin erimesi ve boşluklu bir yapı oluşmasının sonucudur. Yine pişirme sıcaklığı arttıkça genellikle birim hacim ağırlık azalmaktadır. Bu eğilim tüm örnekler için doğru olmamış ve küçük farklar gözlenmiştir. Bunun nedeni, toplam porozitede meydana gelen artış olarak düşünülmektedir.

Kontrol örneğinin kül katkılı 700, 900 ve 1050 santigrat derecede pişirilen örneklere göre sırayla %25, %22 ve %14 daha az su emme oranına sahipken bu oranlar pomza katkılı örnekler için 700, santigrat derecede pişirilen %12 daha azken, 900 ve 1050 santigrat derecede pişirilen örneklerden %6 ve %14 daha fazladır. Bu oranlar kül ve pomza katkılı örnekler için sırayla %11, %15 ve %10 daha az su emme oranına sahiptir. Bu sonuçlar genellikle katkılarının su emme oranını tanık numuneye göre daha fazla artırdığını göstermektedir. Kontrol örneğinin birim hacim ağırlığı genel olarak katkılı örneklerden büyük bulunmuştur.

3.2 Basınç ve Eğilme Dayanımları (The Compressive And Flexure Strength)

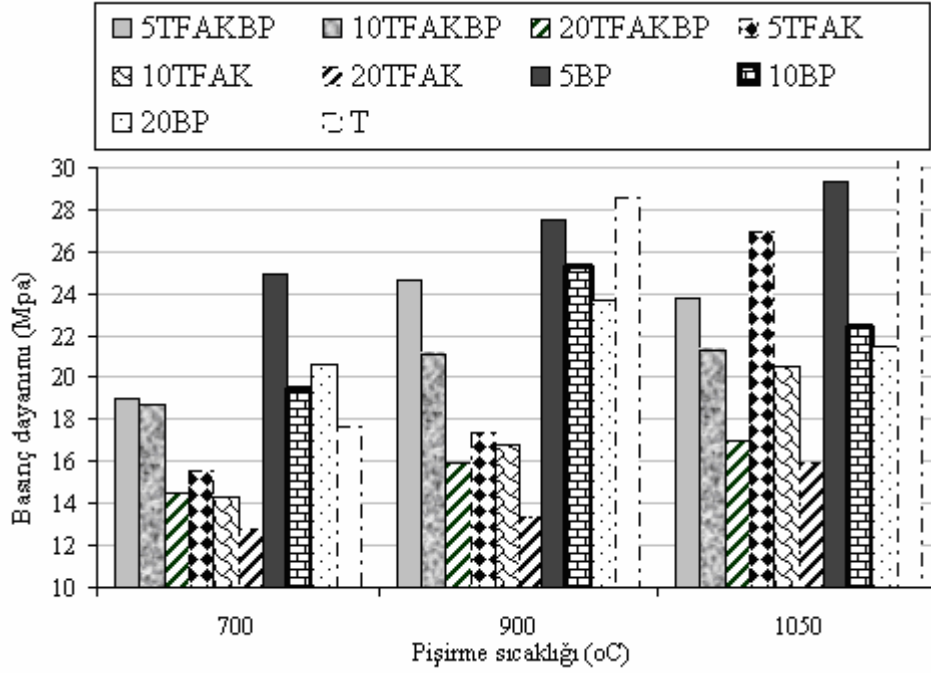
Genellikle tuğlaların pişirme sıcaklığı arttıkça basınç dayanımları da artmaktadır (Şekil 4). Ancak BP katkılı örneklerin 700 ve 900 °C sıcaklıkta pişirilmesinin daha uygun olduğu gözlenmiştir. Çünkü 1050°C'de pişirilen örneklerin basınç dayanımları düşmüştür. BP'nın camı ve kristal yapısı yüksek sıcaklıkta erimiştir. Bu erimeler örnekler üzerinde de

gözlenmiştir. Kızdırma kaybı da bunu açıklamaktadır [21]. %5 BP katkılı örneklerin basınç dayanımı en büyük bulunmuştur. 700 °C pişirme sıcaklığında %5, %10 ve %20 BP katkılı örneklerin basınç dayanımları tanık örneğinden büyük bulunmuştur. 900 °C'de, %5 BP katkılı örneklerin basınç dayanımı tanık örneğine çok yakındır. 700°C'de pişirilen TFAK ve BP katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Bütün örneklerin basınç dayanımları, standartta istenen değer çok üstünde bulunmuştur. TFAK katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür.

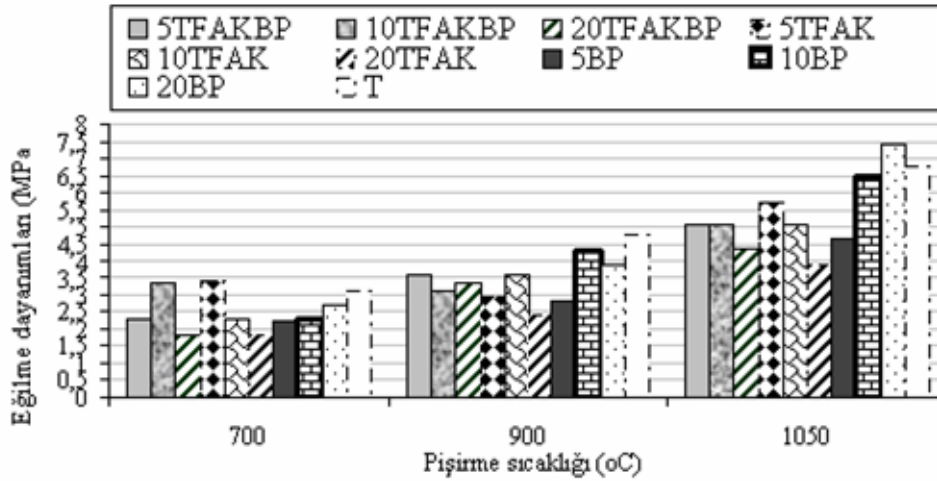
Genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımları da artmaktadır (Şekil 5). 700 °C de pişirilen, BP katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı da artmıştır. Bu sıcaklıkta pişirilen örneklerden tanık örneğinin eğilme dayanımı en büyük bulunmuştur. 900 °C de pişirilen %5 ve %10 BP katkılı örneklerde eğilme dayanımı artarken, %20 katkılı örneklerde düşmüştür. BP katkılı örneklerin eğilme dayanımı, tanık örneğinin eğilme dayanımından daha büyük bulunmuştur. 700°C'de pişirilen TFAK + BP katkılı örneklerde, %10 katkılı olanların eğilme dayanımı en yüksek, %20 katkılı örneğin eğilme dayanımı en düşük bulunmuştur. 900°C'de pişirilen TFAK + BP katkılı örneklerin tümünün eğilme dayanımları, tanık örneğinden daha büyük bulunmuştur. Bu grup TFAK örneklerden %5 katkılı örneğin eğilme dayanımı en büyüktür. 1050°C'de pişirilen TFAK + BP katkılı örneklerden %5 ve %10 katkılı örneklerin eğilme dayanımları birbirine yakındır.

3.3. Ultrasonik Ses Geçişi (The ultrasonic sound penetration)

Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır. Betonun içerisinden geçen P dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur [22]. Ancak, P dalgasının hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, P dalgasının betonun bir yüzeyinden diğerine



Şekil 4. Numunelerin basınç dayanımları (The compressive strength of samples)

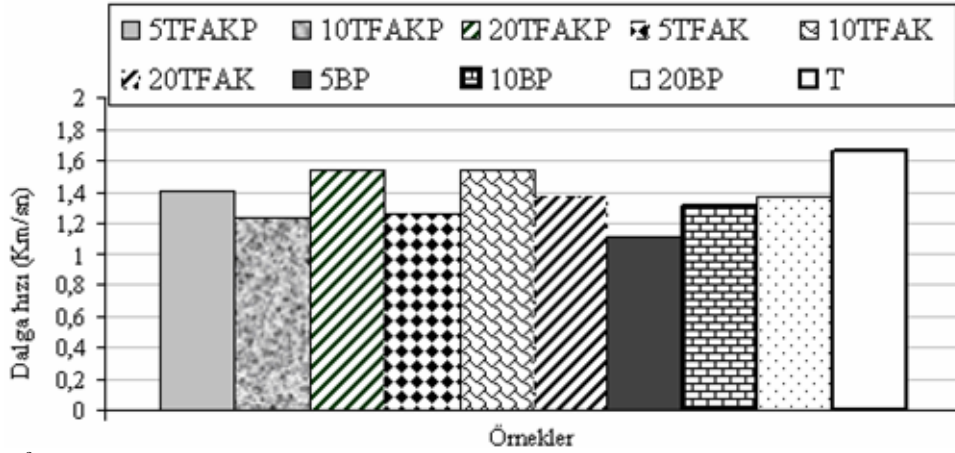


Şekil 5. Numunelerin eğilme dayanımları (The flexure strength of samples)

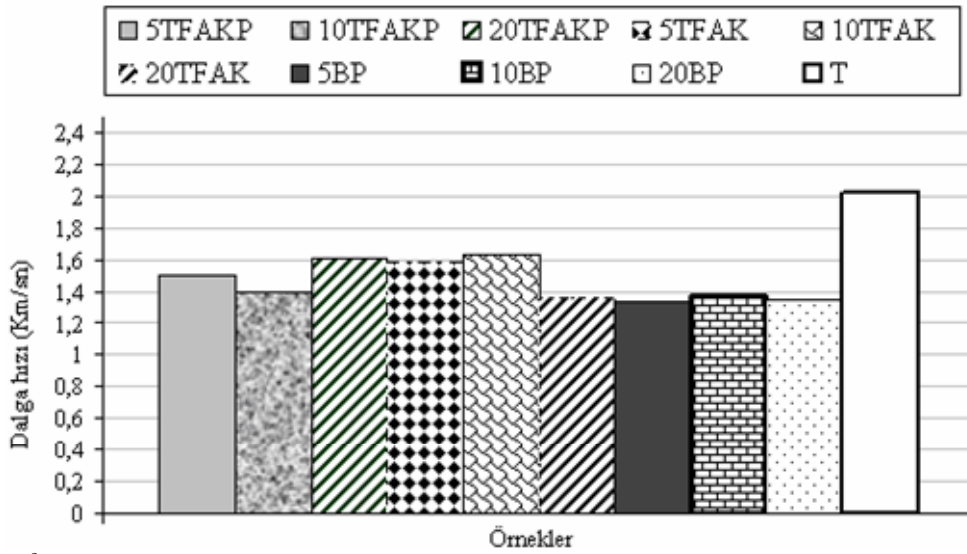
ulaşabilme süresi daha uzundur. Ya da betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça P dalgasının hızı daha küçük olmaktadır. TFAK ve BP parçacıklarının, numuneyi doldurma kapasitesinin yüksek olması ile açıklanabilir. Bu durum Yüksek sıcaklıkta pişirilen pomza katkılı örnekler için geçerli değildir. Zira bu sıcaklıkta pişirilen örneklerin basınç dayanımları da düşük bulunmuştur. Yani basınç dayanımı ile Ultrasonik ses geçişleri paralellik göstermektedir. Ultrasonik dalgaları ne kadar az boşluğa rastlarsa o kadar kısa sürede ilerleyeceğinden, Şekil 6-8'den de anlaşıldığı gibi pişirme sıcaklığı arttıkça dalga geçiş hızı da artmaktadır. Bu sonuçlar basınç dayanım sonuçlarını desteklemektedir. Ultrasonik ses geçiş deneyi sonuçları incelendiğinde tuğla serilerinin ses üstü dalga geçiş hızlarından nasıl bir dayanım özelliği sergileyeceği konusunda genel bir yargıya varılmamaktadır. Zira kontrol örneğinin Ultrasonik ses geçiş

hızları artarken basınç dayanımları artmaktadır. Oysa örneğin pomza katkılı örneklerde bu durum her örnek için doğru değildir. Kimi katkılı örneklerde ise TFAK ve BP katkısının boşlukları doldurma sıkıştırılmaya olumlu katkısı sayesinde TFAK ve BP katkılı tuğlaların Ultrasonik ses geçiş hızları tanık örneğine göre daha düşük çıkmıştır.

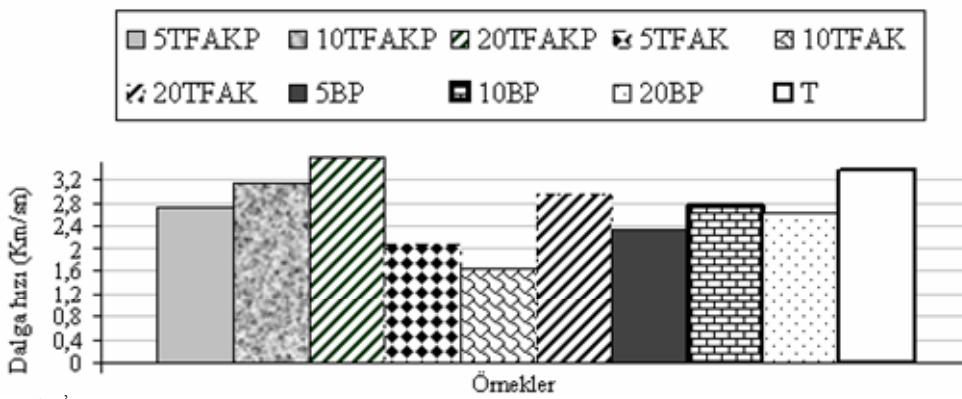
Şekil 9'da tanık örneğinin basınç dayanımları ve Ultrasonik ses geçirgenlik (USG) değerleri arasındaki ilişki verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi dayanım değerleri arttıkça Ultrasonik ses geçirgenlik hızı da artmaktadır. Bu sonuç daha önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir [23]. Dalga numune içerisinde ne kadar az boşluğa rastlarsa, o kadar kısa sürede ilerler, böylece o numunenin Ultrasonik ses geçirgenlik hızı da yüksek olur. Bu durum Şekil 10'da verilen 10TFAKP örneği için geçerli iken Şekil 11'de verilen



Şekil 6. 700 °C de pişirilen örneklerden geçen Ultrasonik ses hızları (The ultrasonic sound penetration velocity of fired brick at 700 °C)



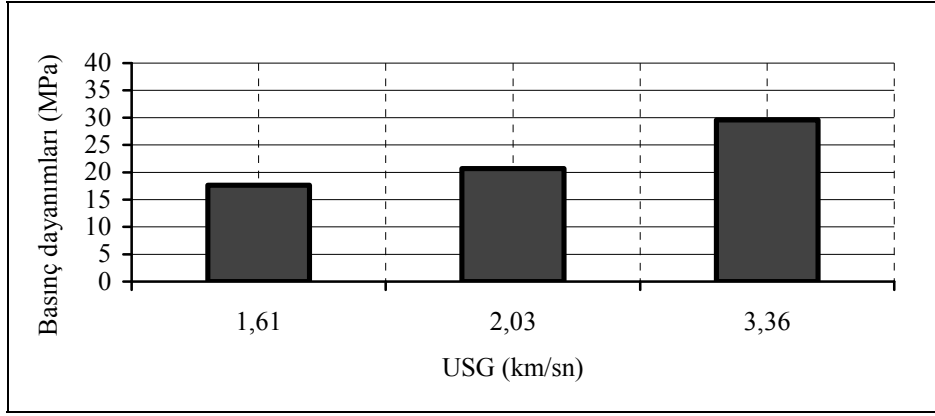
Şekil 7. 900 °C de pişirilen örneklerden geçen Ultrasonik ses hızları (The ultrasonic sound penetration velocity of fired brick at 900 °C)



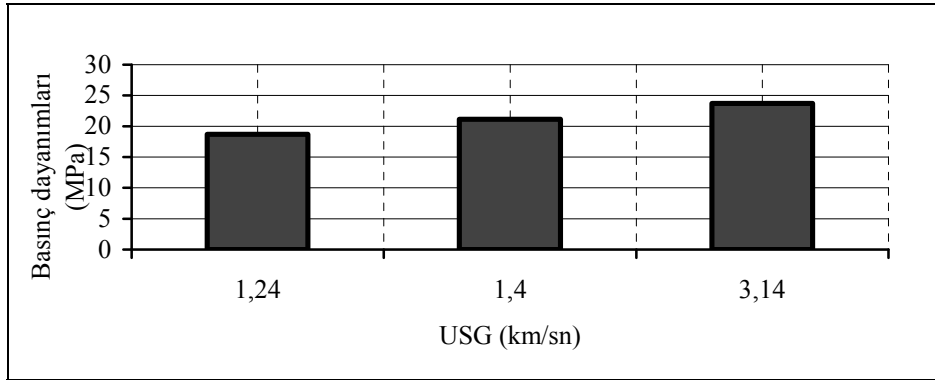
Şekil 8. 1050 °C de pişirilen örneklerden geçen Ultrasonik ses hızları (The ultrasonic sound penetration velocity of fired brick at 1050 °C)

10BP örneği için geçerli olmamaktadır. Genel olarak kontrol örneğinden ses geçiş hızı katkılı örneklerden daha fazladır. Bu da TFAK ve BP nin boşluklu yapısına işaret etmektedir.

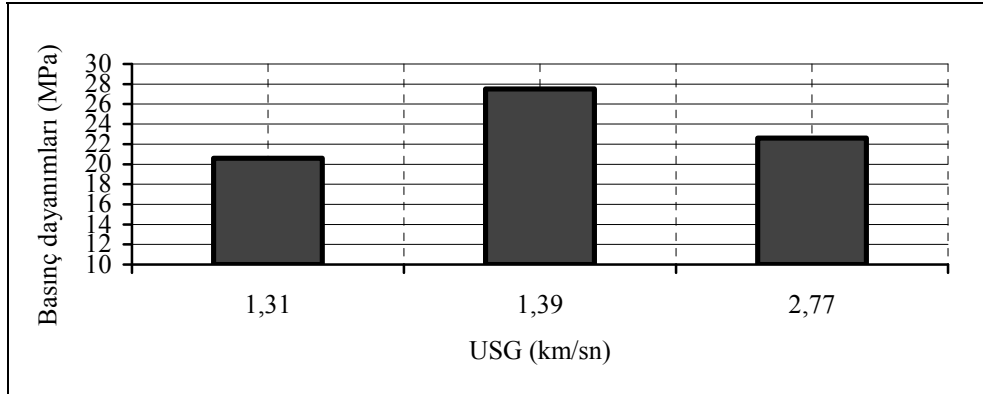
Genel olarak Ultrasonik testleri de dayanım sonuçlarını desteklemiştir. TFAK ve BP tuğla içerisinde azaltığı hava boşluğu yüzünden basınç dayanımları artarken yüksek sıcaklıkta pişirilen pomzalı örneklerinin pomza bileşenlerinin erimesiyle oluşan boşluklar yüzünden Ultrasonik ses geçirgenlik hızını da düşmüş-



Şekil 9. Tanık örneğin basınç dayanımı-Ultrasonik ses geçiş hızları ilişkisi (The relation to compressive strength and ultrasonic sound penetration velocity of control fired brick)



Şekil 10. 10TFAKP örneğinin basınç dayanımı-Ultrasonik ses geçiş hızları ilişkisi (The relation to compressive strength and ultrasonic sound penetration velocity of 10TFAKP)



Şekil 11. 10BP örneğinin basınç dayanımı-Ultrasonik ses geçiş hızları ilişkisi (The relation to compressive strength and ultrasonic sound penetration velocity of 10 BP)

tür. Yani TFAK ve BP (700 ve 900 C°'ye kadar) boşluk doldurucu etkisi sayesinde tanık örneklerden daha yüksek Ultrasonik ses geçiş hızına sahiptir.

Su emme değerleri ile Ultrasonik ses geçirgenlik hızları arasında da genellikle bir ilişki gözükmemektedir. Yani su emme oranı fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşüktür. Bu da bu örneklerdeki boşlukların daha fazla olduğunu açıklamaktadır. Bu sonuçları da SEM resimleri desteklemektedir. Sadece yüksek sıcaklıkta pişirilen pomza katkılı örneklerde söz konusu ilişki görülmemektedir. Zaten bu örneklerin basınç dayanımları da düşük bulunmuştur. Pomzanın kapalı gözenekli yapısının tuğla

ürünün bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturduğu bunun da sesin geçişini engellediği (sönümlendiği) gözlenmiştir.

3.4. Mikroyapı (Micro Structure)

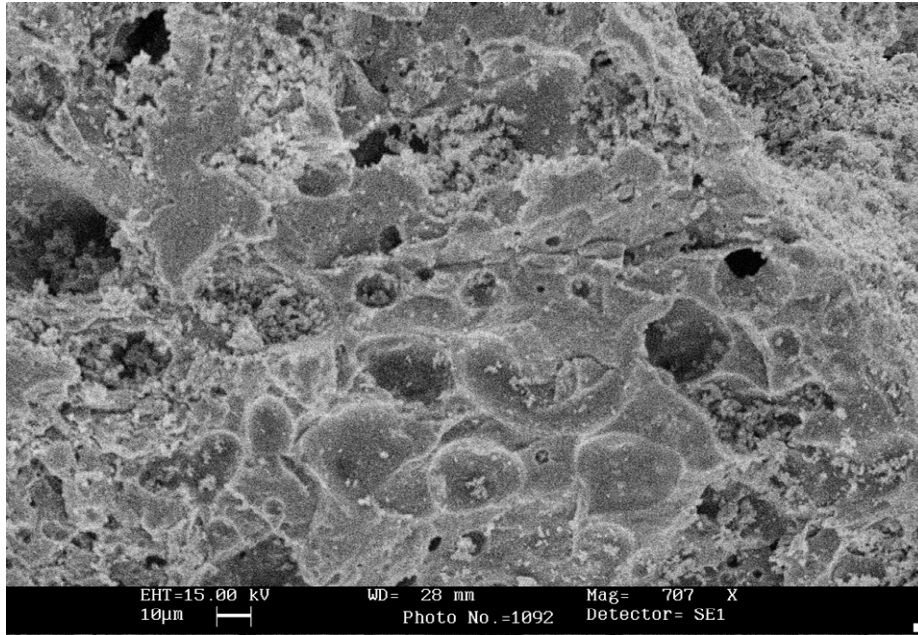
Seçilmiş örnekler üzerinde yapılan elektron mikroskop taramasının görüntüleri Şekil 12–19 arasında verilmiştir. Genellikle tanıklara ait resimlerde özellikle yüksek sıcaklıkta önemli boyutta deformasyon gözlenmiştir. Pomza katkılı örneklerde özellikle 1050 C° de yüksek sıcaklık yüzünden pomza bileşenleri erimiştir. Bu sonuçlar bu örneklerin mekanik dayanımlarının düşük olmasının nedeni olarak açık-

lanmıştı. Söz konusu resimler yapılan yorumları desteklemektedir. Resimler, ideal pişirme sıcaklığının 900°C olabileceğini göstermektedir.

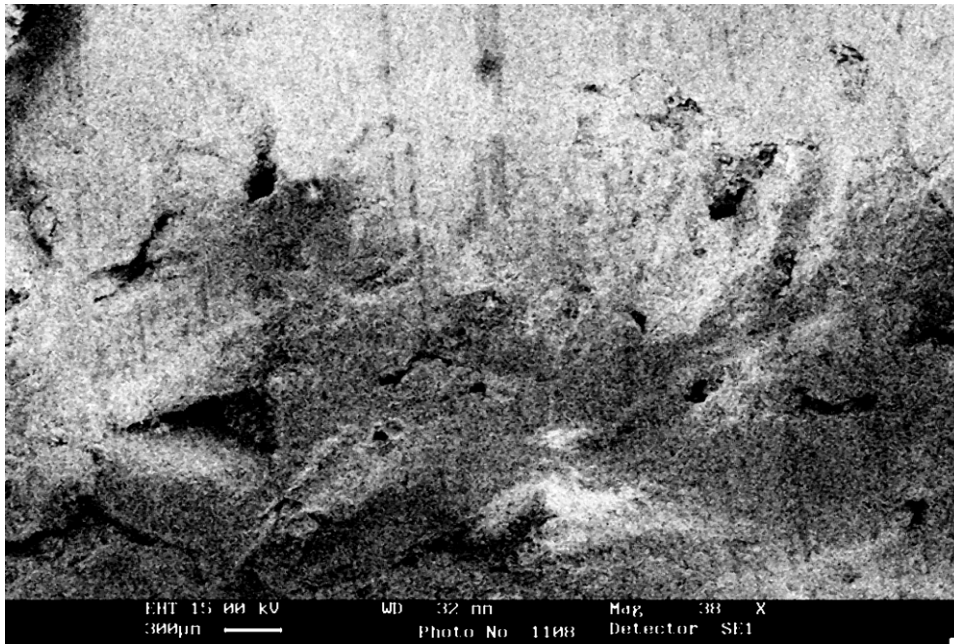
Şekil 12’de birkaç tane gözenek ve küresel kil mineralleri dağınık olarak yer almış ve tam sinterleşme sağlanamadığı gözlenmiştir. Oysa Şekil 13’te daha az sayıda gözenek ve daha sıkı bir yapıdan söz edilebilir. Şekil 14’te ise önemli ayrışma yüzeyleri ve çatlaklar oluşmuştur. Şekil 15’te tam sinterleşmemiş bir yapı görülmekte ve pomza bileşenleri rasgele dağılmış durumdadır. %5 pomza katkılı örneğe ait resim Şekil 16’da görülmektedir. Bu sıcaklık örneğin yeterli sinterleşmesini sağlamış ve sıkı bir yapı elde edilmiştir. Şekil 17’de yüksek sıcaklıkta pomza bile-

şenlerinin erimesi ile kristal yapıların bozulduğu ve yapısal çatlakların oluştuğu görülmektedir. Şekil 18’de %5 TFAK katkılı örneğin SEM görüntüsünde yeterli sinterleşmenin sağlanmaması yüzünden kül taneleri tam oryente olamamıştır. Şekil 19’da ise daha sıkı bir yapı göze çarpmakta ve yarı deforme olmuş bir kesit görülmektedir.

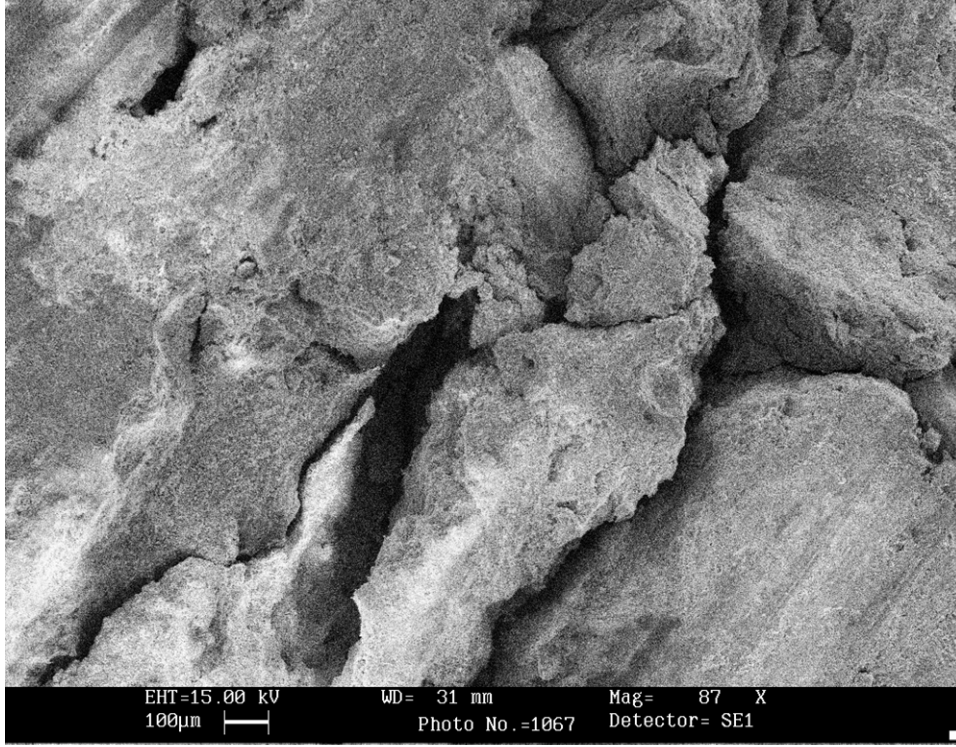
Mikro yapı fotoğraflarından, artan sıcaklıkla birlikte yeni fazların oluştuğu veya oluşan fazların boyutlarının arttığı görülmektedir. Değişik kristallerin şekil olarak da farklılaştığı gözlenmiştir. 700°C’de oldukça gevşek bir yapı gözlenirken, artan sıcaklıkla birlikte sistemde çubuksu yapılar oluştuğu, özellikle 900 °C’de sinterlenmenin sağlandığı gözlenebilmektedir.



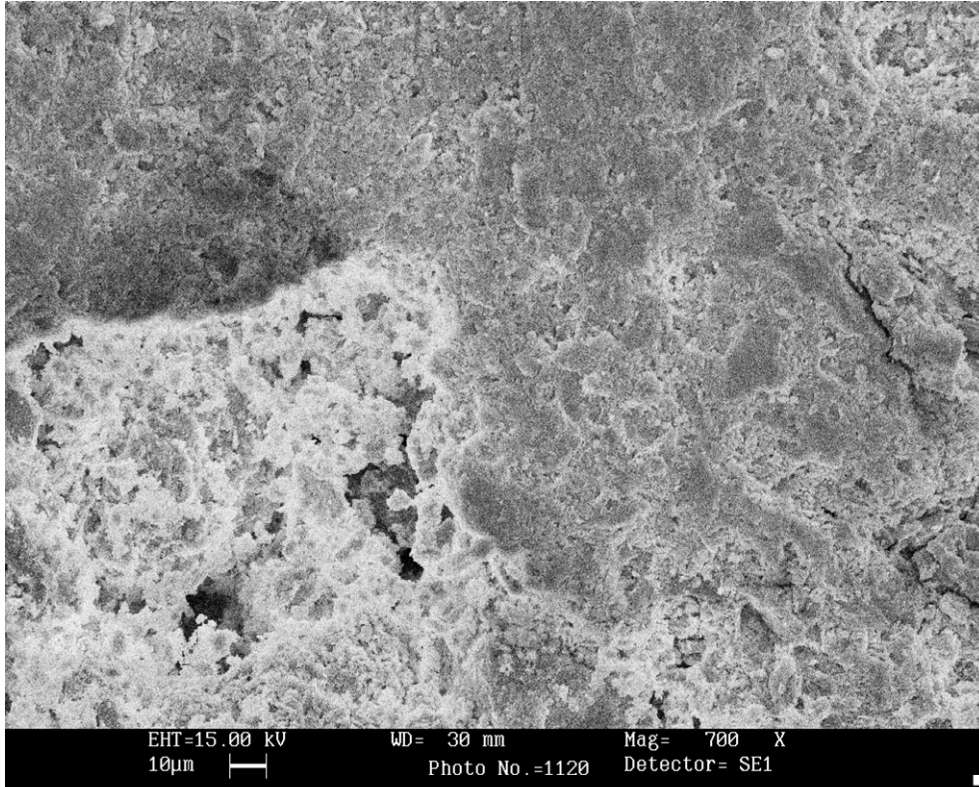
Şekil 12. 700°C’de pişirilen tanık örneğin SEM görüntüsü (SEM image of control sample fired at 700 C°)



Şekil 13. 900°C’de pişirilen tanık örneğin SEM görüntüsü (SEM image of control sample fired at 900 C°)



Şekil 14. 1050 C° 'de pişirilen tanık örneğin SEM görüntüsü (SEM image of control sample fired at 1050 C°)

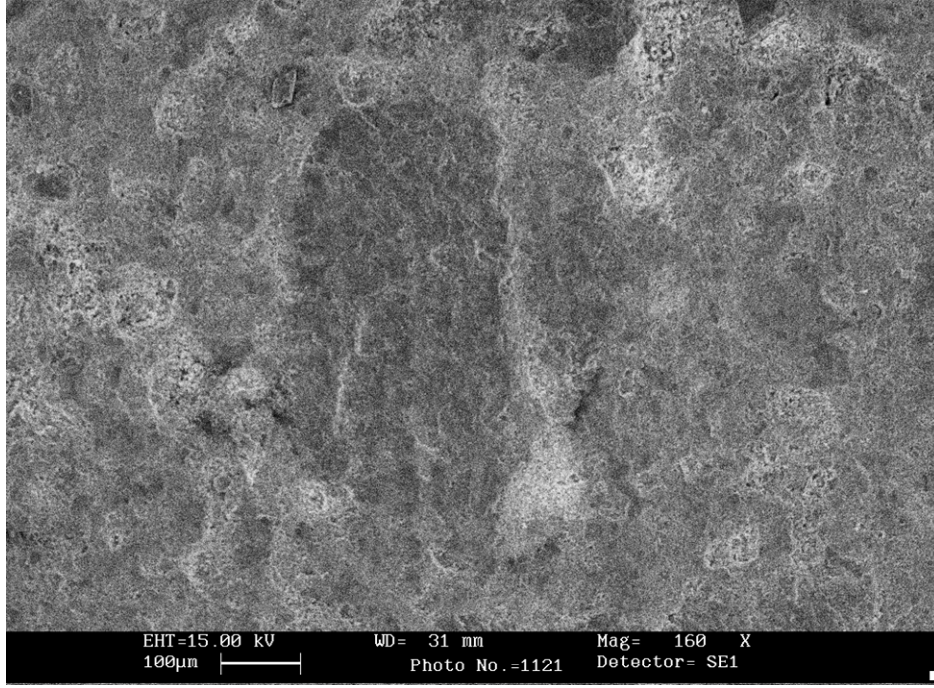


Şekil 15. 700 C° 'de pişirilen 5BP örneğin SEM görüntüsü (SEM image of 5BP sample fired at 700 C°)

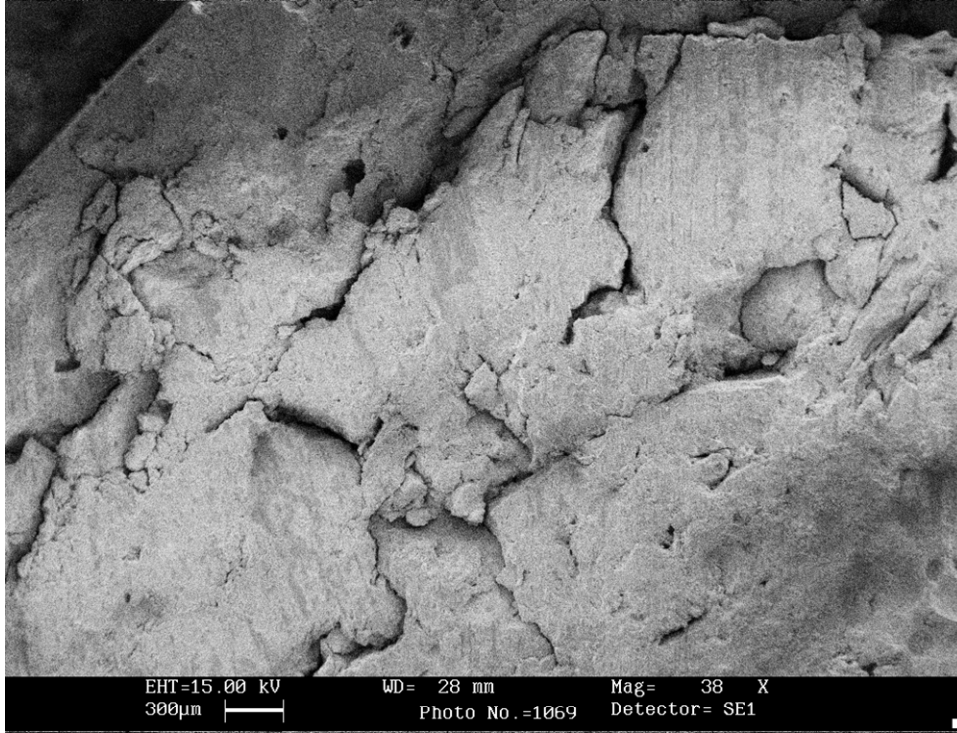
Ancak 1050°C'de özellikle pomzalı örneklerde pomza bileşenlerinin bu sıcaklıkta erimesi yüzünden önemli boşlukların oluştuğu gözlenmiştir.

1050°C'de yeterli düzeyde basınç dayanımına ulaşamamasına yüksek sıcaklıkta eriyen minerallerin neden

olduğu söylenebilir. Yani oluşan boşluklar yüzünden dayanım düşmüştür. Bu sıcaklıkta katkısız ve TFAK katkılı örneklerde yoğunluğun daha yüksek olması ve hem eğilme hem de basınç dayanımlarının yüksek olması SEM resimleri de desteklenmektedir. Ayrıca söz konusu yüksek sıcaklıkta pişirilen pomzalı



Şekil 16. 900 C° 'de pişirilen 5BP örneğin SEM görüntüsü (SEM image of 5BP sample fired at 900 C°)

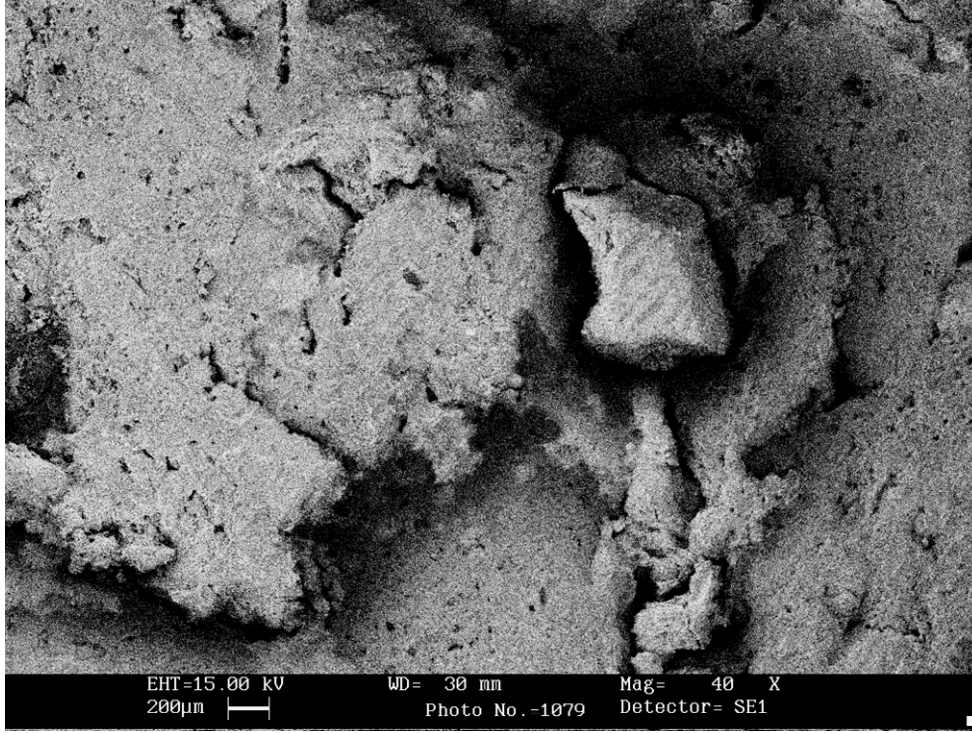


Şekil 17. 1050 C° 'de pişirilen 5BP örneğin SEM görüntüsü (SEM image of 5BP sample fired at 1050 C°)

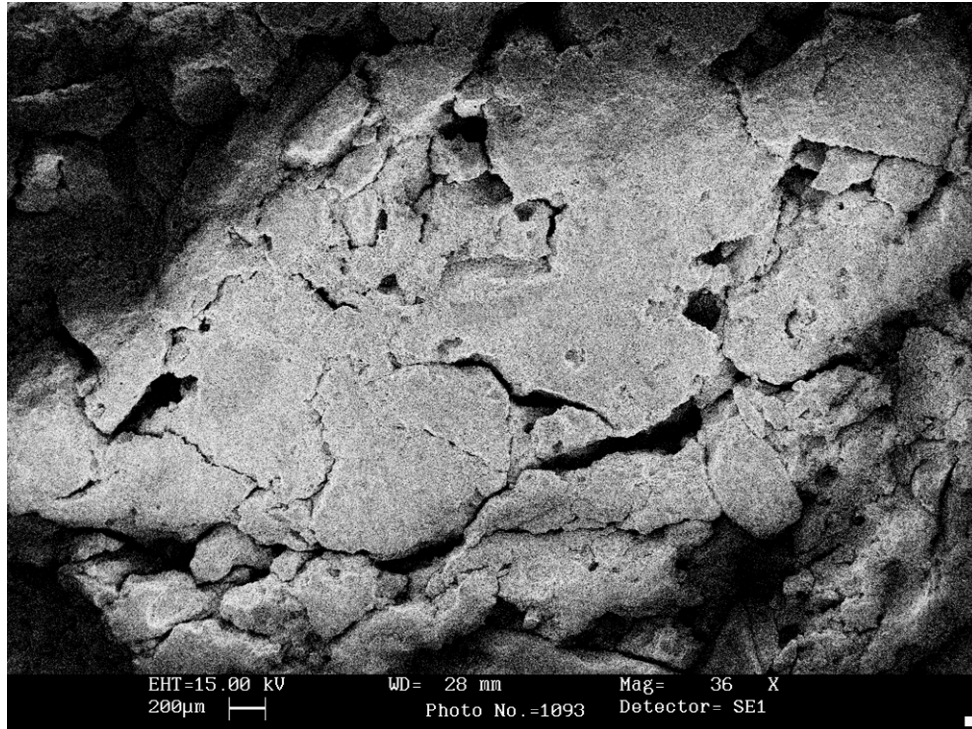
örneklerin Ultrasonik ses geçiş hızlarının da düşük seviyede kalması bu bilgileri desteklemektedir. Özellikle 900°C'de pişirilen TFAK ve BP katkılı örneklerde çok iyi sinterlenme sağlandığı ve bölgesel boşlukların oluşmadığı görülmüştür. Daha ince olan TFAK tanelerinin tuğlaların sinterleşmesini kolaylaştırdığı ve daha yoğun tuğlaların elde edildiği bunların hem basınç hem de Ultrasonik ses geçiş hızlarını artırdığı söylenebilir. Bu bulguları 18 nolu kaynak ta desteklemektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

1. Bazaltik pomza katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça su emme değerleri de düşmüştür. Bazaltik pomza grubu örneklerde katkı oranı arttıkça birim hacim ağırlık artarken, tekstil fabrikaları atık külü katkılı örneklerde düşmüştür.
2. Tüm katkılı tuğla numunelerin basınç ve eğilme dayanımları, katkısız tuğlanın basınç dayanımlarından yüksektir. %5 ve %10 tekstil



Şekil 18. 700 C° 'de pişirilen 5TFAK örneğin SEM görüntüsü (SEM image of 5TFAK sample fired at 700 C°)



Şekil 19. 900 C° 'de pişirilen 5TFAK örneğin SEM görüntüsü (SEM image of 5TFAK sample fired at 900 C°)

fabrikaları atık külü ve bazaltik pomza katkılı tuğlaların dayanımlarında önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Pişme sıcaklığının artırılmasıyla basınç ve eğilme dayanımının arttığı ve su emme oranının azaldığı görülmüştür.

3. Su emme değerleri fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçiş hızları daha düşüktür. Bu da örneklerdeki boşlukların daha fazla

olduğunu yapısını açıklamaktadır. Bu sonuçları SEM resimleri de desteklemektedir.

4. Ultrasonik ses geçiş hızları ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki gözlenmiştir. Bu durum daha boşluksuz tuğlaların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Elektron mikroskop taramalarının resimleri de bu bulguları desteklemektedir.

5. %5 bazaltik pomza katkılı örneklerin basınç ve eğilme dayanımları en yüksek bulunmuştur. % 5 ile %10 arasında tekstil fabrikaları atık külü ve bazaltik pomza ile uygun nitelikte tuğla üretilebileceği anlaşılmaktadır.

ÖNERİ

Pomzanın kapalı gözenekli yapısının tuğla ürünün bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturacağı ve tuğlanın ısı yalıtım değerinin artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle pomza katkılı tuğlada ısı yalıtım değerinin araştırılması konusunda ayrı bir çalışmanın yapılması yararlı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 107T264 numara ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Erkoyun H, Pomzanın Türkiye'deki yeri ve önemi, **Türkiye pomza sempozyumu ve sergisi**, Süleyman Demirel Üniv, 1-7, Eylül, Isparta, 2005.
2. Kelling G, Kapur S, Sakarya N, Akca E, Karaman C, Sakarya B, Basaltic tephra: potential new resource for ceramic industry, **Brit Brit Ceram Trans**, 3, 129-36, 2000.
3. Xu L, Gou W, Wang T, Yang N, Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio, **Construction and Building Materials**, 19, 243-247, 2005.
4. Kottürk U, Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, 205, 250-266, 1993.
5. Güler R, Patla P, Hess TR., Properties of fly ash bricks produced for environmental applications, **Building Environment Research**, 30, 505-524, 1995.
6. Kalwa M, Gryciki M., Utilization of fly ash, a waste from thermal power stations, in manufacture of building materials, **Ceram Powders**, 6, 107-109, 1983.
7. Muckherji SK, Machhoya BB, The utilization of fly ash in the preparation of ceramic tableware and artware, **Brit Ceram**, 92, 254-257, 1993.
8. Kaplan H, Binici H, Tras ve Traslı Çimentolar, Çimento ve Beton Dünyası, 1, 23-30, 1996.
9. Lingling X, Wei G, Tao W, Nanru Y, Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio, **Construction and Building Materials** 19, 243-247, 2005.
10. DPT, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri 2, **Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları**, 2612-ÖİK:623, 2001.
11. Kılıç A.M, Ş.Koçhisar (Ankara) Civarındaki Killerin Tuğla-Kiremit Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği, **11. Ulusal Kil Sempozyum**, İzmir, 258-262, 2003.
12. Bayat O ve Bayat B, Çimento Sanayi Atık Su Arıtma Çamurunun Tuğla Üretiminde Kullanılması, **Madencilik Dergisi**, Sayı 37, 27-33, 1998.
13. Ediz N. ve Özdağ H, Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliği, **Madencilik Dergisi**, sayı 34, 28-35, 1995.
14. Müdüroğlu M. ve Atak S, Tuğla Kiremit Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, **3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, 56-63, 1999.
15. Yılmaz A.O, Alp İ, Deveci H, Çavuşoğlu İ, Yalçın F, Araklı (Trabzon) Bölgesi Kil Yataklarının Tuğla Ve Kiremit Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, **II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK** 2005, İstanbul 17-19 Kasım 2005.
16. ASTM C 597, "Standart Test Method For Pulse Velocity Through Concrete", **Annual Book of ASTM Standard**, 1994.
17. Erdoğan T.Y, "Betonda Kalite Sorunları ve Yapılarda Beton Kalitesinin Önemi, İyi Beton", Kuzey Kıbrıs 1, **Beton Kongresi**, Atatürk Kültür Merkezi, Lefkoşa, 1990.
18. TS 3260, Beton Yüzey Sertliği Yolu İle Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1978.
19. Franco L, Noli A, Girolamo P.D, Ercolan M, "Concrete strength and durability of prototype tetrapods and dolosse: Results of field and laboratory tests", **Coastal Engineering**, 40, 207-219, 2000.
20. Erdal M ve Şimşek O, Bazı Tahribatsız Deney Metotlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesindeki Performanslarının İncelenmesi, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 21, 65-73, 2006.
21. Cultrone G, Sebastian E, de la Torre M.J, Mineralogical and physical behaviour of solid bricks with additives, **Construction and Building Materials**, 19, 39-48, 2005.
22. Yazıcıoğlu S ve Bozkurt N, Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 21, 675-680, 2006.
23. Demirboğa R, Türkmen İ, Karakoç M, Relationship Between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for High-Volume Mineral-Admixed Concrete, **Cement and Concrete Research**, 34, 2329-2336, 2004.