

NEVŞEHİR YÖRESİ PONZA TAŞLARININ TUĞLA HAMMADDESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

AYŞE GÜL GÜZEL¹

ÖZET

Ponza taşı, yurdumuzda oldukça yaygın rezervleri bulunan doğal hafif bir agregadır. Şimdiye kadar ponza katkısından tuğla endüstrisinde yararlanılmamıştır. Bu çalışmada, ponzanın kile katılıp pişirildiği zaman, ürünün niteliklerini özellikle hafifletme ve ısı yalıtımı yönünden nasıl değiştirdiği, irdelenmeye çalışılmıştır. Ponzalar belli hacim oranlarında, dane çaplarında ve Fuller parabolüne uygun granülometride kile katılıp, değişik sıcaklıklarda pişirilmiştir. Üretilen ponza ve ayrıca deflokulan ve ponza katkılı tuğlalar üzerinde, çeşitli fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Sonuçta; üretim koşulları değiştirilerek, yeterli mukavemette, dona dayanıklı, hafif, ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş, değişik özelliklerde, ponza katkılı tuğla üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

1. GİRİŞ

Geleneksel yapı sistemlerinde önemli bir yeri olan tuğla, hem yapı fiziği hem de taşıyıcılık açısından birçok gereksinimi karşılayabilecek niteliktedir. Günümüzde, kile çeşitli maddeler karıştırılarak, tuğla hafifletilmekte ve ısı yalıtım özellikleri geliştirilmektedir. Tuğlanın birim ağırlığının azaltılması iki

¹ Yrd.Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Topçular, Antalya

yöntemle gerçekleştirilmektedir: 1. Organik veya inorganik maddelerin kile ilavesi, 2. Mekanik veya kimyasal yolla köpürterek boşluk oluşturulmasıdır [1,2,3]. Yurtdışında, polistren [2], talaş tozu [4,5], vb. gibi organik maddelerin ilavesiyle hafif tuğla üretimi yaygındır. İnorganik maddelerin hafifletici katkıları olarak denenmeye başlaması yenidir, bu amaçla, perlit [1] ve vermikülit [6] kullanılmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak bulunan ponza taşı doğal bir agregadır ve şimdiye kadar bu amaçla kullanılmamıştır. Bu çalışmada, ponza taşının tuğla kiline katılıp pişirildiğinde, elde edilen tuğlanın niteliklerini nasıl etkilediğinin ve hafif tuğlalara alternatif olarak ponza katkılı tuğlaların üretim koşullarının araştırılması esas olmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Üretimde, Beykoz, Göksu Deresi, çömlekçi kili kullanılmıştır. Analizlerde kilin %57'sinin 2μ 'dan küçük partiküllerden oluştuğu, özgül ağırlığının 2.7gr/cm^3 , plastik limitin %23, likit limitin %54 olduğu saptanmıştır [7]. İTÜ Kimya-Metalurji Fak.'nde yapılan X-Işınları analiziyle, kaolinit grubu kil minerali olduğu, bunun yanı sıra kuvars minerali de içerdiği anlaşılmıştır [8]. Nevşehir yöresinden alınan ponza agregasının özgül ağırlığı 2.41gr/cm^3 , 2/4mm dane grubundaki ponzaların birim ağırlıkları 0.93gr/cm^3 olarak saptanmıştır [9]. Ponza taşı ve kilin kimyasal analiz değerleri Tablo.1 de verilmiştir [8].

Tablo 1- Kil ve Ponza Taşının Kimyasal Analizi

	Kimyasal Kompozisyon (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K. Kaybı
Kil	63,92	20,30	5,30	0,88	0,25	0,35	7,45
Ponza Taşı	89,60	1,70	1,60	2,42	0,37	yok	4,40

2.2. Kil – Ponza Karışımları

Ponza katkısının, tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri iki ayrı açıdan incelenmiştir: 1. Ponza dane boyutunun etkisi; Farklı boyutlarda elenen ponzalardan, 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35mm olmak üzere üç grup elde edilmiştir. Bu gruplardan ayrı ayrı üretim yapmak zor olacağından, en büyük agrega boyutu 4mm olacak şekilde bütün dane boyutlarını içeren bir karışım da yapılmış, bu amaçla, Fuller parabolüne uygun agrega granülometrisi esas alınmıştır. 2. Ponza miktarının etkisi; Elde edilen son ürün, hacim olarak %50 ponza-%50 tuğla, %53 ponza-%47 tuğla, (agrega danelerinin, idealleştirilmiş küre konumuna göre ve kübik sistemde

birbirlerine değmeleri halinde boşluk oranının %47 olacağı kabul edilmiştir), %60 ponza-%40 tuğla, %70 ponza- %30 tuğla olacak şekilde 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 dane gruplarından 12 grup elde edilmiştir. Fuller parabolüne göre yapılacak karışımlarda küçük boyutlu agreganın da bulunması nedeni ile, daha azının birim ağırlıkta yeterince azaltım sağlamayacağı düşünülerek, karışımlar %60 ponza hacim oranından başlatılmış ve 10'ar 10'ar artırılarak %90 ponza hacim oranına kadar 4 ayrı karışım daha belirlenmiştir. Bu karışımlar, İTÜ Mimarlık Fak. Malzeme Lab'ında, ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilmiş, 4x4x16cm'lik numuneler elde edilmiştir. Pişme sıcaklığının etkilerini araştırmak için de, 800°C'den başlayarak, 850, 900, 950 ve 1000°C' lerde pişirilmiştir [8]. Kilin hazırlanmasında bir yol daha denenmiş, killer oranları Tauber ve diğerlerinin [2] verdikleri reçeteye göre, kuru kile oranla %0.85 P₂O₅, %1.27 NaOH olacak şekilde deflokulan kullanarak su içerisinde dağıtılmıştır. Deflokulanın etkilerini incelemek için, P₂O₅ ve NaOH katkısı ile hazırlanan kilden, daha önce belirlenen ponza karışım oranlarında ve pişme sıcaklıklarında üretim yapılmıştır [8].

2.3. Hazırlanan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Rötre, kılcak su emme, atmosfer basıncında ve kaynatarak su emme, özgül ağırlık, eğilme ve basınç deneyleri, İTÜ Mimarlık Fak. Malzeme, ısı iletkenlik deneyi, İTÜ Makine Fak. Isı Tekniği, MIP deneyi, TUBİTAK, dona dayanıklılık deneyi Akdeniz Üni. TBMYO İnşaat, donma çözülme deneyinde 25. çevrim sonunda sağlam kalan numuneler üzerindeki basınç deneyi de TMMOB, İnşaat M.O. Antalya Şb. Laboratuvarlarında yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ, İRDELENMESİ

Üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri, deflokulan katkısı, pişme sıcaklığı, ponza hacim oranı ve dane boyutu olmak üzere dört ayrı parametrenin etkisi açısından incelenmiştir.

3.1. Pişme Rötresi

Bütün serilerde pişme sıcaklığı arttıkça, rötre de artmıştır. Bu da, kilin önce plastiklik sonra da kristal suyunu kaybetmesi ve porozite kazanmasıyla beklenen bir sonuçtur. Tüm karışımlarda, deflokulan ve ponza katkısı rötreyi azaltmıştır. Katkılı tuğlalarda, Fuller granülometrisi rötreyi azaltmada etken olurken, katkisizlarda bu özellik kaybolmuş, değerler tek tip dane çaplı ponzalarla üretilenlerden büyük olmuştur. Fuller'e göre üretilen deflokulan katkılı tuğlalarda, ponza miktarı arttıkça rötrede belirgin bir azalma olmuş,

aynı grupta katkısızlarda muntazam bir azalma olmamakla birlikte, 900°C'ye kadar en küçük rötre değerleri %90 ponza içeriğinde elde edilmiştir [8].

3.2. Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Pişme sıcaklığı arttıkça, birim hacim ağırlık artmıştır. Bu da camlaşmanın artmasının sonucudur. Ponza katkılı ürünlerin, birim hacim ağırlıkları, aynı sıcaklıkta pişirilen referans tuğlalara göre azalmıştır. Bu azalma, tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen tuğlalarda, Fuller'e göre üretilenlerden daha fazladır. Bu da, Fuller parabolündeki ince dane boyutlu ponzaların, hem kendilerinin birim ağırlıklarının büyük olmasından, hem de bunların iri danelerin arasındaki boşlukları doldurmalarından dolayı beklenen bir sonuçtur. Genelde, deflokulan katkısı ponzal ve ponzasız tuğlaların birim ağırlıklarında artışa neden olmuştur. Bu da deflokulan katkısının kil kütlesinde yeterli bir camlaşma ve bağlayıcılık sağlaması ve sonuçta hacim ağırlığı arttırması, poroziteyi azaltması şeklinde açıklanabilir. Ancak, Fuller'e göre %80 ve %90 ponzadan üretilen tuğlaların büyük bir çoğunluğunda deflokulan katkısı, birim ağırlığı azaltmıştır. Diğer taraftan, ponza miktarının artmasıyla, deflokulan katkısız ve Fuller'e göre üretilen tuğlalarda, özellikle 950 ve 1000°C'lerde birim ağırlık artmıştır. Büyük bir ihtimalle bu karışımlarda ince ponza daneleri aralardaki boşlukları

Tablo 2- Birim Hacim Ağırlık ($\Delta = \text{gr/cm}^3$)

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı °C									
		800		850		900		950		1000	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0	0	1.74	1.79	1.71	1.83	1.74	1.92	1.82	2.02	1.92	2.14
1/2	50	1.38	1.47	1.40	1.52	1.42	1.58	1.55	1.65	1.62	1.74
	53	1.33	1.51	1.35	1.56	1.40	1.64	1.51	1.77	1.56	1.82
	60	1.28	1.45	1.31	1.49	1.33	1.60	1.43	1.65	1.53	1.73
	70	1.23	1.41	1.25	1.48	1.31	1.54	1.45	1.65	1.50	1.73
2/2,36	50	1.37	1.38	1.39	1.55	1.42	1.60	1.49	1.74	1.61	1.82
	53	1.33	1.43	1.35	1.47	1.40	1.55	1.48	1.62	1.58	1.69
	60	1.30	1.37	1.33	1.43	1.41	1.50	1.48	1.61	1.55	1.70
	70	1.38	1.37	1.40	1.41	1.46	1.49	1.55	1.62	1.60	1.65
2,36/3,35	50	1.33	1.41	1.34	1.43	1.42	1.53	1.47	1.59	1.56	1.62
	53	1.25	1.41	1.27	1.44	1.31	1.50	1.39	1.63	1.49	1.66
	60	1.27	1.43	1.30	1.46	1.35	1.53	1.41	1.65	1.60	1.70
	70	1.26	1.36	1.26	1.40	1.36	1.43	1.51	1.54	1.62	1.67
Fuller	60	1.37	1.45	1.43	1.49	1.51	1.57	1.55	1.67	1.71	1.72
	70	1.39	1.44	1.43	1.49	1.48	1.59	1.60	1.72	1.70	1.77
	80	1.48	1.39	1.50	1.44	1.61	1.50	1.65	1.63	1.75	1.74
	90	1.39	1.39	1.49	1.51	1.55	1.57	1.73	1.67	1.86	1.71

A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkılı tuğlalar

doldurarak ve özellikle sıcaklık artışıyla birlikte kil kütlesiyle kaynaşarak, daha yoğun ve iç yapı kusurları az olan bir yapı meydana getirmiştir. Bu durum porozite değerleri ile de doğrulanmaktadır (Tablo 3). Bu grupta deflokulan katkıli tuğlalarda %60 dan %70'e geçişte, artan sıcaklıkla birlikte birim ağırlıklar giderek artmış, %80'likte ise, istenen en düşük değerleri veren tuğla elde edilmiştir. Tek tip dane çaplı ponzalardan üretilen katkıli ve katkısız tuğlalar içerisinde de 2.36/3.35mm arasındakilerin diğerlerine göre daha düşük değerler verdiği görülmektedir [8].

3.3. Porozite

Bu bölümde, ponzanın kile ilavesiyle tuğlanın boşluk yapısındaki ve hacmindeki değişimler incelenmiştir. Atmosfer basıncında su emme deneyi ile bulunan görünür poroziteyle (Tablo 3) dışa açık boşlukların ancak bir kısmının ölçülebildiği, daha sonraki kaynatmayla bu boşlukların hacmi hakkında daha somut sonuçlar elde edilebileceği düşünülmüştür. Özgül ağırlıkların bulunmasıyla kapalı boşluklar da dahil edilerek numunelerin tüm boşluklarını belirten gerçek porozite değerleri bulunmuştur.

Bütün tuğlaların porozite değerleri, pişme sıcaklığı arttıkça azalmıştır. Deflokulan ve ponza katkısının tuğla porozitesi üzerindeki etkileri ise birbirinden farklıdır: Deflokulan katkısı (istisnalar hariç) kil kütlesinin pişme

Tablo 3- Görünür Porozite (%)

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı (°C)									
		800 A B		850 A B		900 A B		950 A B		1000 A B	
0	00	34.61	28.30	34.58	26.57	33.79	22.08	30.67	16.78	26.02	9.15
1/2	50	42.47	36.80	42.22	36.12	40.38	34.06	35.00	29.96	30.21	24.95
	53	43.83	35.95	42.33	34.25	40.81	31.32	35.50	24.04	31.32	20.23
	60	45.33	40.28	43.86	38.96	42.58	34.23	39.60	29.65	32.56	24.05
	70	44.33	39.61	44.30	35.59	41.25	33.80	35.18	28.20	32.14	23.80
2/2.36	50	41.79	37.99	40.86	34.34	39.75	33.20	37.41	25.59	29.18	19.91
	53	44.12	39.35	43.76	36.90	42.33	35.18	38.63	29.30	32.91	24.66
	60	42.94	40.36	41.78	38.62	38.90	36.08	35.19	30.43	31.50	24.93
	70	41.61	38.45	41.40	36.69	39.49	33.37	35.35	27.93	32.09	24.92
2.36/3.35	50	43.61	38.35	43.52	36.96	39.97	33.66	38.16	29.56	32.08	26.39
	53	45.01	38.59	44.21	37.60	42.77	36.63	38.96	28.63	33.57	25.68
	60	45.23	39.14	43.85	36.71	42.31	35.08	38.91	27.99	28.91	23.89
	70	44.82	38.90	43.34	37.19	40.73	36.37	33.17	30.45	26.70	22.64
Fuller	60	42.01	37.87	40.05	36.60	36.34	33.07	34.61	26.61	24.68	22.08
	70	39.18	37.12	38.20	34.73	36.30	31.99	30.75	24.57	24.68	21.12
	80	34.03	37.42	34.11	34.77	30.47	32.71	28.08	26.99	21.47	22.93
	90	35.04	38.51	32.19	34.96	31.26	32.34	20.92	25.76	12.52	23.67

A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkıli tuğlalar

sırasında erimesi ve camlaşmasına, böylelikle porozitenin azalmasına, ponza katkısı ise (Fuller'e göre üretilen katkısız tuğlaların bazıları hariç) artmasına neden olmuştur. Ponza miktarının değişimiyle tek tip dane çaplı ponzalarla üretilenlerin porozite değerlerinde fazla bir değişim görülmemekte, Fuller'e göre üretilen tuğlalarda ise, 0.5 mm'den küçük ponzaların etkisiyle ponza miktarı arttıkça, porozite ve su emme değerleri azalmaktadır. Bu etki deflokulan katkısız tuğlalarda daha belirgindir [8].

3.4. Kılcal Su Emme

Tablo 4 ve 5 de, tuğlaların kapilarite katsayıları ve kılcal boşluk yüzdeleri [10] verilmiştir. Deflokulan katkısızlarda, pişme sıcaklığı artışıyla, porozite azalır ve kılcal boşluk yüzdesi artarken, kapilarite katsayısı ise 850°C'ye kadar artmış, daha sonra azalmaya başlamıştır. Porozite azalırken, kılcallığın ve boşluk yüzdesinin artması, sıcaklık artışı ve erimeyle boşlukların tamamen kapanmayarak kılcal boşluklara dönüşmesi, 850°C'den itibaren de, bu kılcal boşlukların bir kısmının dolarak yerlerini hacimleri daha fazla fakat daha küresel boşluklara bırakması ve kılcallığın azalması şeklinde açıklanabilir. Deflokulan katkılı ponzasız tuğlalarda ise, pişme sıcaklığı artışıyla camlaşma ve kılcal boşlukların büyük bir kısmının kapanmasıyla kılcallık ve boşluk yüzdesi azalmıştır. Sonuçta deflokulan katkısının bir miktar erimeye yol açarak boşlukluluğu ve kılcallığı azalttığı, ancak ponza katkısı ve sıcaklık artışıyla birlikte boşlukların daha da incelmeye neden

Tablo 4- Kapilarite Katsayısı ($N \times 10^{-5} \text{ cm} / \sqrt{\text{dak.}}$)

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı (°C)									
		800 A B		850 A B		900 A B		950 A B		1000 A B	
0	00	6038	4976	6229	4471	7083	3690	6972	3484	6114	1277
1/2	50	17362	---	---	---	---	---	---	---	---	17145
	53	---	---	---	---	---	12154	---	13398	---	14980
	60	19963	8869	21108	12114	22186	20499	42263	31937	50811	30939
	70	20996	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2/2.36	50	---	---	---	---	---	7859	---	6864	---	9613
	53	19277	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	60	21561	---	16830	---	24860	---	37736	---	42510	---
	70	14776	23543	17301	20200	27498	24649	32680	44373	37007	44823
2.36/3.35	60	15078	13736	20165	15975	24365	19937	32264	19801	36468	29576
	70	---	---	17593	---	---	---	---	---	---	---
Fuller	60	12563	15265	17041	14267	20547	16933	23881	17369	20119	22600
	70	12122	14452	15996	18079	18762	23101	20014	27560	16254	25051
	80	13868	17324	17639	17656	16303	21407	21382	28521	15668	29083
	90	18209	16123	23161	21787	22930	25452	12534	28915	6753	21153
		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkılı tuğlalar

Tablo 5- Toplam Boşluğa Oranla Kılcal Boşluk Yüzdesi (%)

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı (°C)									
		800 A B		850 A B		900 A B		950 A B		1000 A B	
0	00	45.56	44.86	49.33	41.30	57.45	40.72	62.54	40.70	62.92	19.54
1/2	50	83.80	79.84	81.82	75.15	81.72	75.03	76.62	72.13	75.22	73.13
	53	75.60	72.29	85.00	---	82.47	78.18	75.55	---	81.17	73.58
	60	81.56	---	81.95	---	79.96	77.64	74.21	73.87	82.32	68.76
	70	78.62	71.98	76.82	71.74	81.62	72.45	76.98	71.49	79.63	69.94
2/2.36	50	75.84	69.33	83.99	73.53	81.28	76.78	77.59	75.39	80.08	69.41
	53	80.92	69.23	81.77	70.24	80.31	62.28	84.40	68.62	79.83	66.95
	60	81.13	67.78	81.81	69.79	80.04	70.51	81.79	66.72	79.00	61.61
	70	84.03	68.54	83.06	68.82	85.06	66.79	83.58	59.84	79.71	61.17
2.36/3.35	50	73.42	68.84	81.78	68.38	81.97	70.18	77.65	69.99	77.39	62.50
	53	71.60	68.29	79.63	69.26	78.88	72.86	70.41	67.84	71.52	64.98
	60	77.82	70.35	80.60	68.16	78.21	63.81	87.28	86.68	77.36	67.66
	70	77.32	67.04	82.01	67.84	76.73	67.44	78.99	67.56	79.14	65.57
Fuller	60	80.49	69.43	83.26	70.79	84.98	71.84	83.36	68.63	83.10	63.23
	70	79.44	---	83.34	74.25	84.58	70.36	82.15	63.65	82.47	61.39
	80	86.45	71.00	86.12	71.57	84.88	69.52	84.72	63.83	77.61	62.99
	90	84.76	73.26	84.82	71.31	77.97	68.92	83.40	64.96	75.06	66.78

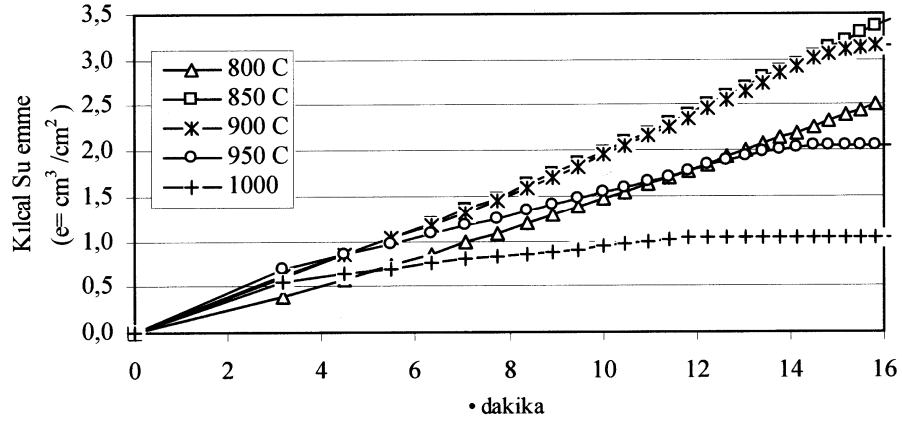
A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkılı tuğlalar

olarak kılcallığı arttırdığı söylenebilir. Şekil 1 ve 2’de de görüldüğü gibi, Fuller’e göre üretilen deflokulanlılarda %90 ponza içeriğinde 950°C’ye kadar, %70’de sürekli, %80’de de 850°C’den itibaren azalan kılcal boşluk yüzdesine karşılık, kılcallık %80’de sürekli, %70 ve 90’da 950°C’ye kadar artmıştır. Bu durum boşlukların hacmi azalırken, aynı zamanda çaplarının küçülmesi ve bu küçülmenin kılcal su emme kuvvetini büyütürken kılcallığın artması şeklinde açıklanabilir [8, 10].

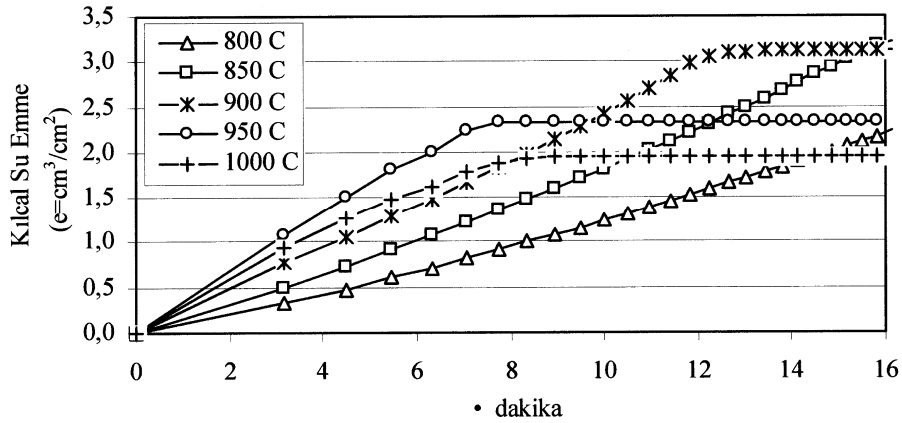
Bu sonuçları tam olarak açıklayabilmek için, boşlukların boyutlarının ve şekillerinin de belirlenmesi gerekir. Çünkü, kılcallık sadece pişme sıcaklığına ve buna bağlı olarak poroziteye değil, boşluk yapısının geometrik şekline ve büyüklüğüne de bağlıdır [11].

3.5. Boşluk Boyut Dağılımı

Bazı tuğlalar üzerinde MIP deneyi yapılmış, boşluk çapı dağılımları Tablo 6 da verilmiştir. Buna göre, 850 °C’de pişen ponzasız ve deflokulansız tuğlaların toplam açık boşluklarının %79’unu 0.1µm den küçük boşlukların oluşturduğu, sıcaklık artışıyla bunların azalarak 1µm ile 0.1µm arasındaki boşluklara doğru kaydığı görülmektedir. Veriler, bu tuğla için, kılcallık ve kılcal boşluk yüzdesi arasında kurulmaya çalışılan ilişkiyi, boşluk şekli açısından olmasa bile, büyüklüğü açısından doğrulamaktadır. 900°C’ye kadar boşlukların çapları küçülmüş ve toplam porozitedeki yüzdeleri artmış,



Şekil 1- Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 90 Hacim Oranında Üretilen Deflokulan Katkısız Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı

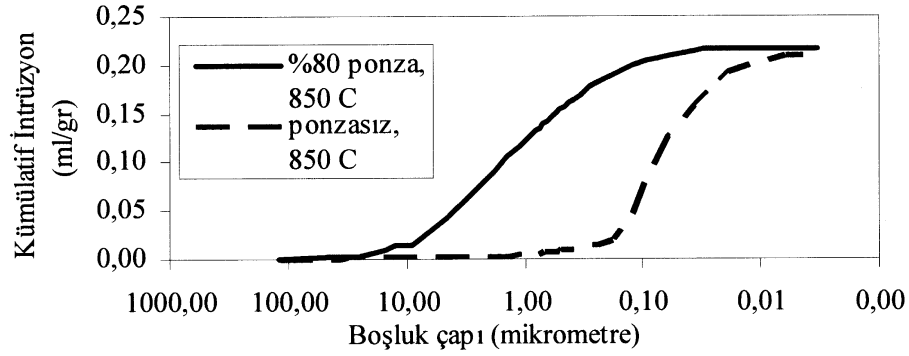


Şekil 2- Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 90 Hacim Oranında Üretilen Deflokulan Katkılı Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı

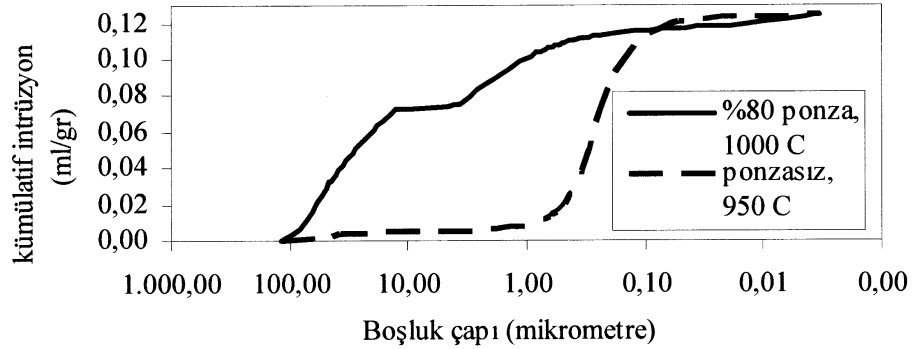
950°C'de de boşluk çapları büyümüştür. Katkılı ponzasız tuğlada ise, 850°C'den 950°C'ye geçerken büyük boşlukların miktarı biraz artmış, küçük boşluklar bir miktar azalmıştır. Deflokulan katkısı da 850°C gibi düşük sıcaklıklarda 0.1µm den küçük boşlukları azaltmış, 0.1µm ile 1µm arasındaki boşlukları arttırmıştır. Ponza ilavesi deflokulan katkılı ve katkısız tuğlalarda boşluk boyut dağılımında büyük boşlukları arttırmıştır (Şekil 3 ve 4). Tüm pişme sıcaklıklarında, 1µm den büyük boşluklar ürünün %50 ve daha fazlasını oluşturmuştur. Pişme sıcaklığının da ponzalı tuğlalar üzerinde etkisi vardır. Mureşan'ın [12] belirttiği gibi 10µm ve 1µm den büyük

Tablo 6- MIP Uygulanan Tuğlaların Boşluk Çapı Dağılımları

Tuğla Tipi	Pişme Sıcakl. (°C)	Boşluk çapı yüzdesi (b %)			
		b>10µm	10µm>b>1µm	1µm>b>0.1µm	b<0.1µm
Ponzasız, defl. katkısız	850	1.2	0.6	19.1	79.0
	950	0.7	0.3	79.0	20.1
Ponzasız, defl. katkılı	850	1.6	0.9	73.9	23.6
	950	4.2	2.5	79.9	13.4
Fuller %80 defl. katkısız	850	6.6	46.8	38.4	8.1
	950	51.2	29.2	17.5	2.1
Fuller %80 defl. katkılı	800	15.8	31.0	39.7	13.5
	850	20.7	40.1	30.3	8.9
	900	21.7	39.5	29.5	9.3
	950	41.6	36.2	14.1	8.1
	1000	58.1	20.7	13.3	7.9



Şekil 3- Deflokulan katkısız tuğlalarda ponza katkısının boşluk boyut dağılımına etkisi



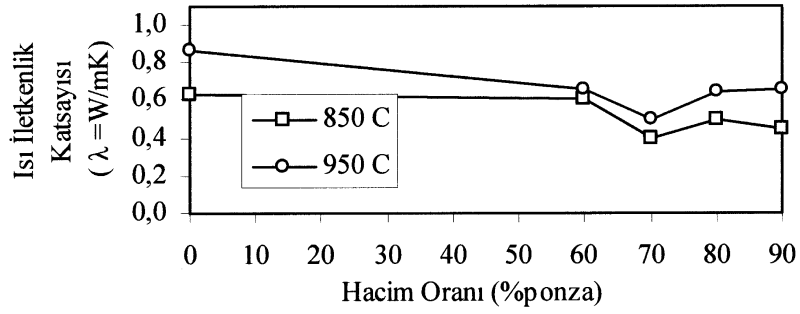
Şekil 4- Deflokulan katkılı tuğlalarda ponza katkısının boşluk boyut dağılımına etkisi

boşluklar pişme sıcaklığı arttıkça artmış, 1µm den küçükler ise pişme sıcaklığı arttıkça azalmıştır. Pişme sıcaklığı artışıyla büyük boşluk oranının artması, sinterleşmenin artması ve erimeyle boşlukların bir bölümünün

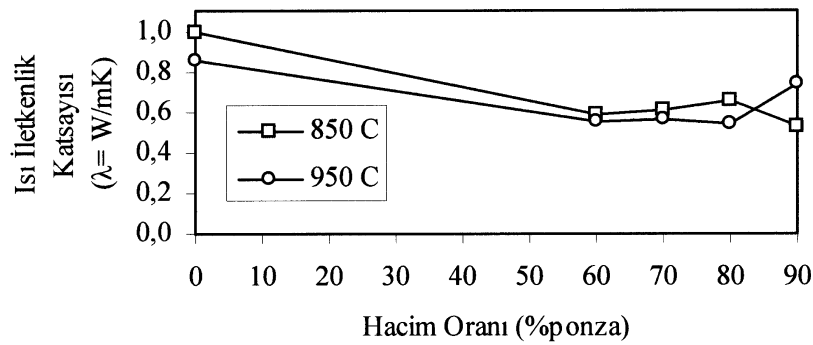
kaplanması, diğer bölümünün diğer boşluklarla birleşerek daha büyük boşluklar meydana getirmesi şeklinde açıklanmıştır.

3.5. Isı İletkenlik

Pişme sıcaklığının ve ponza katkısının deflokulan katkı ve katkısız tuğlalarda ısı iletkenliğe etkileri, Şekil 5 ve 6'da Fuller'e göre üretilen tuğlalar için gösterilmiştir. Ponza katkısı ısı iletkenliğini azaltmıştır. Deflokulan katkısız tuğlalarda, pişme sıcaklığının 850°C'den 950°C'ye çıkması ısı iletkenliğini arttırmıştır. 950°C'dekilerin 850°C'dekilere göre daha az boşluklu oldukları düşünülürse, bu normal bir sonuçtur. Deflokulan katkılılarda ise, %90 hacim oranı hariç, sıcaklık artışıyla boşlukların azaldığı ve birim ağırlık arttığı halde ısı iletkenlik azalmıştır. Bu durum %80 ponzalı tuğlanın MIP değerleriyle de çalışmaktadır. Çünkü bu tuğlada 850°C'den 950°C'ye geçişte büyük boşlukların oranı artmıştır. 950°C'deki deflokulan



Şekil 5- Fuller Parabolüne Göre Üretilen Deflokulan Katkısız Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Katkısının Isı İletkenliğe Etkisi



Şekil 6- Fuller Parabolüne Göre Üretilen Deflokulan Katkılı Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Katkısının Isı İletkenliğe Etkisi

katkılı tuğlanın büyük boşluklarının aynı özellikteki katkısızdan az olması, 950°C'deki katkılu tuğlanın ısı iletkenliğinin katkısızdan daha düşük oluşunu açıklamakta, ancak 850°C'deki artışı açıklamaya yetmemektedir. Ponzasız tuğlalarda da, ısı iletkenliği etkileyecek kadar oranda büyük boşluklar yoktur. Bu çelişkili sonucu, bu tuğlaların nem oranının yüksek olma ihtimalinden kaynaklandığı düşünülebilir, ancak literatürde %70 bağıl neme kadar tuğlaların ısı iletkenliklerinin çok az arttığı belirtilmiştir [13]. Bu durum pişme sırasında gelişen özel bir yapıya, üretim hatasına veya değişimine (kalıplama) bağlı olabilir [8].

3.6. Mekanik Özellikler

Tuğlaların basınç dayanımları Tablo 7'de verilmiştir. Ponza ilavesiyle, tuğlaların eğilme ve basınç dayanımlarında, özellikle tek tip dane çaplılarda çok büyük azalmalar olmuştur. Bu durum, hafifletici maddenin, pişme sırasında kil matriksinin boy kısaltmalarına uymaması, ponza ve matriks içindeki boşluklara ilaveten, rötre çatlaklarının oluşarak bünyeyi zayıflatması olarak yorumlanabilir [14]. Fuller'e göre üretilenlerde, ponza ilavesiyle dayanımlardaki azalma daha azdır. Tek tip dane çaplı ponzalarla üretilenlerde, pişme sıcaklığının mekanik dayanımlar üzerinde etkisi kalmamıştır. Ponzasızlar ve birkaç istisna hariç Fuller'e göre üretilenlerde, mekanik dayanımlar, pişme sıcaklığının artışına paralel olarak artmıştır.

Tablo 7- Basınç Dayanımı ($\sigma_B = N / mm^2$)

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı □ C									
		800 A B		850 A B		900 A B		950 A B		1000 A B	
0	00	20.83	24.03	24.27	27.09	34.86	37.95	44.05	49.04	61.18	67.28
1/2	50	5.81	6.78	6.64	9.54	6.52	8.73	5.66	7.73	6.18	9.91
	53	4.82	9.83	5.50	12.99	4.98	12.53	4.17	12.33	4.14	14.34
	60	3.66	9.03	4.93	11.23	4.85	9.65	4.33	7.45	3.78	8.67
	70	3.44	7.52	3.64	9.33	3.60	8.59	3.23	6.30	3.75	8.29
2/2.36	50	5.23	7.02	5.38	12.42	4.84	14.06	4.67	15.15	4.89	15.47
	53	4.12	8.01	4.88	9.10	5.23	7.38	4.40	6.30	3.95	5.68
	60	4.07	7.19	4.89	7.63	4.55	7.76	4.32	6.36	3.69	7.13
	70	6.01	8.80	7.74	9.19	8.01	7.07	7.21	6.02	6.15	5.89
2.36/3.35	50	4.48	7.95	5.21	8.23	4.84	7.12	4.53	4.93	3.94	4.14
	53	3.83	6.64	4.42	7.65	3.90	7.84	3.35	5.48	3.18	5.17
	60	3.94	9.79	5.22	11.20	5.30	9.44	4.73	7.75	5.20	6.52
	70	4.29	6.94	4.76	7.70	5.22	6.71	4.96	4.64	6.53	6.28
Fuller	60	6.00	9.19	8.03	10.16	7.63	9.26	7.83	8.10	10.17	10.23
	70	5.26	9.15	8.47	11.22	8.18	9.19	9.98	11.03	11.14	13.17
	80	8.28	10.14	10.36	11.13	14.39	10.08	13.10	10.67	15.43	14.88
	90	7.03	12.00	11.14	14.63	12.41	13.11	19.08	15.64	25.71	20.00

A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkılu tuğlalar

Genelde, tek tip dane çaplı katkısız tuğlalarda, ponza miktarının artışıyla, dayanımlar azalmıştır. Ponza miktarıyla mekanik dayanımların değişimi, Fuller'e göre üretilenlerde farklı bir eğilim göstermiş, hacim oranının artışıyla, eğilme dayanımı fazla değişmezken, basınç dayanımlarında ince daneli ponzaların varlığıyla, porozitenin de azalmasına paralel olarak belirgin artışlar olmuştur. Deflokulan katkısı da mukavemetleri arttırmış, ancak, yüksek sıcaklıklarda ve Fuller'e göre %80 ve 90 ponzayla üretilenlerde, katkısızların değerleri katkılılardan daha yüksek olmuştur. Bu durum, bu grubun diğer fiziksel deney verileriyle uygunluk içerisinde [8].

3.7. Dona Dayanıklılık

Tuğlaların dona dayanıklılıklarının bir göstergesi olan doyma katsayısı, tamamına yakınında 0.80'in üstündedir. Bu nedenle, donma çözülme deneyi de yapılmış, deneyden sağlam çıkan numunelerin basınç dayanımları Tablo 8'de verilmiştir: 850 °C'de dona dayanıklı olan ponzasız tuğlalar, tek tip dane çaplı ponza katkısıyla, bu özelliklerini kaybetmiştir. Bu gruptaki katkısızlarda, sadece 1000 °C'de, 1/2 ve 2.36/3.35 dane grubunda, %60 hacim oranında dona dayanıklı tuğla elde edilmiştir. Deflokulan katkılılardan, 900 °C'de pişenlerin çoğu standartlarda belirtilen dayanıklılık değerini

Tablo 8- Basınç Dayanımı ($\sigma_B = N / mm^2$) Donma Çözülme Deneyinden Sonra

Dane Boyutu (mm)	Hacim oranı % ponza	Pişme Sıcaklığı °C									
		800		850		900		950		1000	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0	00	---	---	18.00	24.21	---	---	---	41.93	---	---
1/2	50	P	P	P	P	P	P	3.54	5.40	3.91	7.17
	53	P	P	P	P	P	9.68	2.97	9.28	3.22	11.53
	60	P	P	P	P	P	8.81	P	5.73	3.54	7.93
	70	P	P	P	P	2.45	5.55	---	4.24	3.20	4.50
2/2.36	50	P	P	---	P	P	8.30	---	14.52	3.35	8.31
	53	P	P	---	P	P	5.39	P	5.13	---	4.79
	60	P	P	---	P	P	P	---	---	2.81	4.15
	70	P	P	P	P	P	5.96	---	4.48	4.74	3.04
2.36/3.35	50	P	P	P	P	P	4.74	P	3.25	2.68	2.07
	53	P	P	P	P	P	P	P	---	2.15	3.51
	60	P	---	P	P	P	7.38	P	---	4.40	5.25
	70	P	P	P	P	P	P	---	3.00	4.08	4.41
Fuller	60	P	P	P	7.95	P	5.78	6.49	5.57	8.55	10.21
	70	P	P	P	10.12	P	8.04	8.30	9.65	6.21	12.00
	80	---	---	6.10	10.02	---	---	10.79	---	---	---
	90	6.03	11.16	8.04	13.08	9.04	10.91	15.81	13.62	16.21	12.56

A: Deflokulan katkısız tuğlalar B: Deflokulan katkılı tuğlalar

TS'ye göre dona dayanıklılar, P: parçalanalar, --- üzerinde deney yapılmayanlar

sağlamış, ancak pişme sıcaklığı artışıyla dona dayanıklı tuğla adedi azalmıştır. Fuller'e göre üretilen katkısızlar, 1000°C'ye kadar ponza miktarı ve sıcaklık artışıyla dayanıklılık kazanmış, 1000°C'de ise, sadece %60 ponzalı tuğla dona dayanıklı çıkmıştır. Bu durum, kılcallık davranışıyla da ters düşmektedir. Hatta %90 hacim oranlı tuğla, tüm tuğlalar içerisinde 0.63 değeriyle en düşük doyma derecesine sahiptir. Mureşan'ın [12], pişme sıcaklığı ve boşluk boyut dağılımı arasında kurduğu ilişkiye göre de, dona dayanıklılık açısından tehlikeli olan boşlukların miktarı, ki bunları 1µm ile 0.1µm arasındaki boşluklar olarak tanımlamıştır, pişme sıcaklığı artışıyla azalmaktadır. Bu durum, bu numunelere MIP deneyi yapılmadığı için irdelenememiş, ancak, diğer denenen tuğlalarda 1µm ile 0.1µm arasındaki boşlukların, pişme sıcaklığı artışıyla azaldığı tespit edilmiştir (Tablo 6). Bu grupta katkılılarda, %60 hacim oranlı tuğla hariç diğerlerinin artan sıcaklık ve ponza miktarıyla dayanıklılık kazanması da MIP sonuçları ile bağdaşmaktadır. Bu durumda, 1000°C'de dona dayanıksız hale gelen tuğlaların toplam boşluk hacmi içindeki kapalı boşluklarının çok azalmış olabileceği yorumu yapılabilir.

4. SONUÇLAR

1. Tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen katkısız tuğlalar, tuğlayı hafifletmede diğerlerine göre daha başarılıdır. 950°C'ye kadar olan sıcaklıklarda da basınç dayanımı değerleri açısından TS 4377'ye [15] uygun, ancak dona dayanıksızdır. Yüksek sıcaklıklarda, TS'ye göre yeterli basınç dayanımı değerleri, ancak deflokulan katkısıyla mümkün olmaktadır. Bunlarda da, yüksek sıcaklıklarda dona dayanıklılık azaldığından, optimum pişme sıcaklığı 900°C olarak saptanmıştır.

2. Bunun yanı sıra, birim ağırlığı ve ısı iletkenliği azaltmada tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen tuğlalara yakın değerler veren ve tümü TS'nin [15, 16] basınç dayanımı değerlerini karşılayan Fuller'e göre üretilenlerin kullanılması, çoğunun dona dayanıklı olması açısından daha uygundur.

3. Fuller'e göre, %70, 80 ve 90 ponza oranlarında ve yüksek sıcaklıklarda pişirmeye birim ağırlıkta az bir azalmaya karşılık, yüksek mukavemetli, dona dayanıklı, ponzasız tuğlalardan bile daha az poroziteye ve su emmeye sahip tuğla üretimi mümkün olmaktadır. Bu tuğlaların kullanımı, özellikle küçük dane çaplı ponzaların değerlendirilmesi açısından yararlı olacaktır.

4. Ponza katkısı ısı iletkenliği azaltmıştır; denenen tuğlalardan, 850°C'de, 2.36/3.35 dane çaplı ponzalarla %70 hacim oranında hazırlanan deflokulan katkılı ve katkısız numunelerle, Fuller'e göre %90 hacim oranındaki katkısız

tuğla, TS 825'e [17] göre AB sınıfı, Fuller'e göre %70 ponza içerikli katkısız tuğla da, W sınıfı hafif tuğla ısı yalıtım değerlerini sağlamaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda görülmüştür ki; üretim koşulları değiştirilerek, yeterli mukavemette, dona dayanıklı, hafif, ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş, değişik özelliklerde, ponza katkılı tuğla üretimi mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Niemann, R., (1990), "Pollution-Free Core-Forming Of Bricks And Bloks With Perlite", ZI, Ziegelind. Int., Vol.43, No.4, pp.222-232.
2. Tauber, E., Peppinkhouse H.J. and Crook, D.N., (1974) "Lightweight Ceramics", Australian Ceramic Society, Vol.10, No.1, pp.12-15.
3. Darweesh, H.H.M., (2001) "Building Materials From Siliceous Clay and Low Grade Dolomite Rocks", Ceramics International, Vol.27, pp.45-50
4. Isenhour, C.T., (1979) "Sawdust Addition to a Shale Body", American Ceram. Soc. Bull., Vol.58, No.12, pp.1197-1198.
5. Okongwu, D.A., (1988) "Effects of Additives on the Burnt Properties of Clay Brick", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.67, No.8, pp. 1409-1411.
6. Kolkmeier, H., (1989) "Possible Alternatives for Obtaining Porosity of Masonry Brick", ZI, Ziegelind. Int., Vol.42, No.4, pp.192-197.
7. Karadağ, N., (1989), *Diyatomit Katkısı ile Tuğla Eldesi*, İTÜ, Fen Bil.Enst., İstanbul,
8. Güzel, A.G., (1993), *Ponza Katkılı Tuğla Üretimi Ve Bu Tuğlaların Boşluk Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi* İTÜ, Fen Bil. Enst, Doktora Tezi, İstanbul.
9. Karagüler, M., (1988), *Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi*, İTÜ Fen Bil. Enst., Doktora Tezi, İstanbul.
10. Uyan, M., (1975) "Beton ve Harçlarda Kılcalılık Olayı", İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
11. Hall, C., Hoff, 13. W.D., Prout, W., (1992) "Sorptivity-Porosity Relations in Clay Brick Ceramic", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 71, No.7, pp.1112-1116.
12. Mureşan, M., (1973) "Applications of Pressure Porosimetry to Ceramic Products", Materiaux et Constructions, Vol.17, No.33, pp.203-208.
13. Elsner, M., (1988) "Heat and Moisture Transport in Vertical Coring Lightweight Bricks" ZI, Ziegelind. Int., Vol. 41, No.6, pp.266-273.
14. Niederaula, G.Z., (1984) "Die Auswirkung Verschiedener Porosierungsmittel auf die Druckfestigkeit von Mauerziegeln", Sprechsall, Vol.117, No.4, pp. 310-313.
15. Anonim, Türk Standardı, TS 4377 / Ocak 1985, "Fabrika Tuğlaları – Duvarlar İçin, Düşey Delikli Hafif", UDK 691.421, Ankara.
16. Anonim, Türk Standardı, TS 705 / Ocak 1985, "Fabrika Tuğlaları – Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli", UDK 691.421, Ankara.
17. Anonim, Türk Standardı, TS 825 / Mart 1989, "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları", UDK 699.86, Ankara.