

## ISPARTA BÖLGESİ POMZASININ TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mustafa Haluk ÇELİK, Recep Kanıt, Mehmet ORHAN  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

### ÖZET

Bu çalışmada Ankara İli İmrahor köyü bölgesi killeri ile Isparta ili karakaya bölgesi pomzasının belirli oranlarda karıştırılmasıyla tuğla üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu amaçla üç farklı karışım; 1. gruba (a) %100 kil, 2. gruba (b) %75 kil+%25 1mm pomza, 3. gruba (c) %75 kil+ %25 pomza 2 mm hazırlanmış ve bu karışımlardan TS 705 e göre yapılan örnekler TS 705 göre basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak yapılan örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu bulunmuştur. Sonuç olarak 1mm pomza ilaveli tuğlanın basınç dayanımına yaklaşık %36 oranında artış sağladığı; 2 mm pomza ilaveli tuğlanın basınç dayanımının ise yaklaşık % 16 oranında düşürdüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kil, Pomza, Hafif Tuğla, Tuğla

### AN INVESTIGATION OF USABILITY OF ISPARTA REGION PUMICE IN THE BRICK PRODUCTION

#### ABSTRACT

In this study, it was researched for mixed specific rate of clays of Ankara zone and pumice of Isparta zone allowable in the brick product. For this aim, three different mixtures have been prepared, %100 clay on group (1), %75 clay+%25 1 mm pumice on group (2), %75 clay+%25 2 mm pumice on group (3) and according to TS 705 compress pressure strength experiments have been made on these samples. It was founded that, compare with the test results and standart values, proportion for building sector. As a result, it was determined that it was decreased %36 compress strength to use brick with 1 mm pumice and increased %16 compress strength to use brick with 2 mm pumice.

**Key Words:** Clay, Pumice, Lightweight Brick, Brick

### 1. GİRİŞ

Mevcut kaynakların verimli kullanılması gerektiğinden pomzanın tuğla kiline katılması ile hem ekonomik yönden değerlendirilmesi ve hem de yapı fiziği özellikleri geliştirilmiş hafif tuğla üretiminin; bundan önce yapılan ve literatür taramasında verilen kaynaklardan mümkün olacağı görülmektedir. Ayrıca ülkemizin içinde bulunduğu sosyo ekonomik koşullar altında enerji ve konut açıklarının meydana getirdiği sorunlara da bir ölçüde katkıda bulunabileceklerdir. Çünkü, hafif tuğlaların kullanımı ile gelen en önemli faydalardan biri de yüksek termal yalıtım özelliklerinin sağladığı enerji tasarrufudur(1).

Düşey veya yatay deliklerle üretilerek ağırlığı azaltılan tuğlalar yapının yükünü hafifletmesi yönünde olumlu sonuçlar vermiştir. Ancak hafif tuğlalara duyulan ihtiyacın en temel nedeni olan termal yalıtım özelliğinde bir gelişme sağladıkları da bilinen bir durumdur. Bunun için tuğlanın birim yoğunluğunun azaltılması yolu ile hafifletilmesi daha mantıklı ve araştırmaya değer olarak görülmüştür (2).

#### 1.1. Literatür Taraması

Kil minerallerinin sınıflandırılması jeolojik, mineralojik bileşim, özellik ve kullanım göz önüne alınarak yapılmıştır. Ancak her bir sınıflandırma ele alınan kritere göre farklı sonuçlar doğurmuştur. Örneğin, Ries bu sınıflandırmayı jeolojik açıdan incelerken, Norton, özellikleri ve kullanım yerlerini(3), Brindley kil minerali partiküllerinin şekli ve boyutlarını, Grim ise yapıları ve bileşenlerini esas alarak bir sınıflandırma yapmıştır (4).

Tuğla killi katkıların pişmiş ürünün nitelikleri üzerindeki etkileri pek çok araştırmacının ilgisini çekmiş ve çeşitli malzemeler, özellikle organik boşluk yapıcı katkıları ve bazı endüstriyel atıklar denenmiştir.

Isenhour (1979); kendi adını taşıyan tuğla ve kiremit fabrikasında, hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında talaştozu katarak denemeler yapmıştır. Dezavantaj olarak; çatlakların artması ve %20 daha küçük kuru ve pişmiş mukavemet değerleri elde etmiştir. Avantajlarını ise şöyle açıklamıştır. Tuğla ağırlığında hacimce %12-14 oranında azalma, katkı malzemesi ile %23 oranında azalma, buna

bağlı olarak hammadde tüketiminde azalma, Kuruma hızında %25 civarında artış meydana gelmiştir.(5).

Okongwu (1988); Tuğla kilinin pişmiş özellikleri üzerinde talaştözünün ve bunu yanı sıra otomotiv sanayii atık yağının etkilerini incelemiştir. Ancak Okongwu bu çalışmasında daha çok katkıların mekanik mukavemetler üzerindeki etkilerini bu ürünün kullanılabilirliğinin saptanmasında seçici kriterler olarak belirlemiş, bu amaçla oranları ağırlıkça %1 den %8 e kadar değişen talaştözü+kil, talaştözü+yağ+kil, yağ+kil olmak üzere üç seri karışım hazırlamıştır. Basınç mukavemeti, su emme ve yoğunluk ölçülerine göre, talaştözünden küçük oranlardaki karışımlar (ağırlıkça <%2) gelişmiş özelliklere yol açmıştır. Bu limitin üzerindeki talaştözü katkıları yararsızdır, bunlar mukavemette sürekli bir azalmaya ve tuğlanın su emme kapasitesinde ise artışa nede olmuştur(6).

Köhler (1988); Çeşitli endüstriyel yan ürünlerin tuğla ve kiremit endüstrisinde kullanılabilirliklerinin tayininde çiçeklenmeye olan eğilimlerini, kirletici gaz emisyonlarını ve katkının enerji içeriğini de seçici kriterler olarak belirlemiştir. Bu amaçla, döküm ocağı fırın cürufu, uçucu kül, talaştözü ve yonga levhası rendesi, linyit fabrikası cüruf yığınları tozu gibi çeşitli atık malzemeler katarak elde ettiği tuğlalar laboratuvar ve endüstriyel düzeyde testler yapmıştır. Testlerden elde ettiği verilere göre, VEB Erfurter mobilya imalat hanesinin attığı olan talaştözü ve yonga levhası rendelerini diğer atıklarla mukayese ettiğinde bunların, kil tuğlalar için uygun olmadıkları sonucuna varmıştır(7).

Okongwu ve Paranthaman (1989); birlikte yaptıkları bir laboratuvar araştırmasında ise, bir hidrokarbon katkısı olarak kömürün tane boyutunun tuğla kilinin pişmiş özellikleri üzerindeki incelemeyi araştırmışlardır. Bu doğrultuda 33000 kJ/kg lık kalorilik değere sahip kömürü 2.36 mm ile 75 µm arasında değişik dane boyutlarında eleyerek oluşturulan grupların her birinden ağırlıkça %0,1 den başlayarak %8 e kadar olan konsantrasyonlarda karışımlar hazırlamışlardır. Pişmiş numuneler üzerinde yapılan basınç mukavemeti ve su emme deneylerinde aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir;

Orta büyüklükte dane boyutuna sahip olan kömür karışımlarının (>100 mm ve <1.1mm),

ağırlıkça %3 ün altındaki konsantrasyonları tuğlanın mukavemetini belirgin bir şekilde arttırmıştır. Çok ince (< 100 mm) veya çok kaba (>1.10 mm) kömür tozu katkısının ise tuğla özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur(8).

Mörtel ve Distler (1991); Birbirinin devamı şeklinde olan iki ayrı çalışmanın, ilkinde uçucu kül katkısı ile tuğla üretimi gerçekleştirmişlerdir. %10 talaştözü, %10 uçucu küllü ve %20 uçucu küllü olmak üzere üç ayrı karışım hazırlamışlardır. Deneyler sonucunda %20 uçucu kül katkısı ile üretilen tuğlaların en yüksek basınç mukavemeti değerlerini vermelerinden dolayı, bu oranın optimum katkı oranı olduğunu vurgulamışlardır(9).

Güzel (1993); %80 ve %90 hacim oranında Fuller parabolüne uygun dağılımdaki pomzalardan hazırlanan tuğlalarla ve 950 °C ve 1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda pişirme ile birim ağırlıkta az bir azalmaya karşılık, yüksek dayanımlı, pomza katkısız tuğlalardan dahi daha düşük poroziteye ve su emmeye sahip tuğla üretimi mümkün olmaktadır. Bu özellikteki tuğlaların kullanımı, kullanım yerinin de doğru olarak seçimi ile, yurdumuzda bol miktarda bulunan pomzanın ve özellikle ince daneli pomzaların değerlendirilmesi açısından, yararlı olacaktır (1).

Demir (2001); Afyon ve çevresinde bulunan tuğla toprağı ve tuf hammaddelerinden kaliteli yapı tuğlası üretimi amacıyla yaptığı çalışmada; söz konusu hammaddelerden üretilen laboratuvar örneklerine TSE standartlarına göre testler uygulanmış, test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğunu araştırmış, Afyon bölgesi tuflerinin mekanik özellikleri ve tuğla yapımına uygunluğu ile ilgili araştırma sonucu olarak; tuğla kiline ağırlıkça (-1) mm tane boyutundaki %10, %20 ve %30 oranlarında tuf katkısının tuğlanın mekanik özelliklerini olumlu yönde geliştirdiği belirtilmiştir(10).

## 1.2 Amaç

Bu çalışmada Isparta bölgesi pomzasının tuğla kiline değişik oranlarda [(a) %100 kil, (b) %75 kil+%25 1mm pomza, (c) %75 kil+ %25 pomza 2 mm] katılarak tuğlanın basınç mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu şekilde TS 705 standardına göre basınç dayanımlarındaki değişimler tespit edilmiştir. Deney sonuçlarının doğruluğu kısıtlayıcı tek etkenli tek özel düzeyli deneyler kategorinde tek yönlü varyans çözümler-

mesi yapılarak ölçülmüştür. Dik doğrusal bağıntılar kurularak düzeylerin birbiriyle olan etkileşimleri “pomza katkısının basınç dayanımına etkisi yoktur” hipotezi ile de sorgulanmıştır.

Deneysel çalışmalar, “G.Ü. Tek.Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl. Malzeme laboratuvarı ve G.Ü. Tek.Eğt. Fak. Metal Eğt. Böl. Isıl İşlem laboratuvarında” yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Malzeme

Çalışmada Ankara bölgesinde tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddesi ve Isparta bölgesinde bulunan pomza hammaddesi kullanılmıştır. Kil örneklerinin alındığı saha Ankara İmrahor köyü sınırları içerisinde yer alır. Hammadde sahası tuğla fabrikalarına yakın bir bölgede bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan kil ve pomza hammaddesinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kil ve pomza numunelerinin kimyasal analiz sonuçları ve literatürdeki değerleri.

OKSİT	Pomza		Kil	
	Analiz	Literatür	Analiz	Literatür
SiO <sub>2</sub>	54,48	60-75	50,86	42,7-64,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,72	13-15	20,80	16,3-20,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,55	1-3	7,08	2,8-7
CaO	4,27	1-2	3,62	0,7-9,5
MgO	1,02	1-2	1,98	0,8-6,2
SO <sub>3</sub>	0,88	--	1,27	0,3
K <sub>2</sub> O	5,38	7-8	4,00	1,7-3,6
Na <sub>2</sub> O	4,16	7-8	0,56	0,1-0,8
Kız. Kaybı	2,51	3	8,76	6,3-11,5
Toplam	93,97		100	100

### 2.2 Metot

#### 2.2.1. Çamur hazırlama ve örneklerin şekillendirilmesi

Numune üretiminde kullanılacak kil hammaddesi Ankara ilindeki bir tuğla fabrikası hammadde yığımından, TS 4790 numune alma yöntemlerine uygun olarak yeterli miktarda alınmıştır. Çeyreklenme metodu ile gerekli miktarda malzeme 1 mm açıklıklı elekten elenerek hazırlanmıştır. Deney numunesi için kullanılacak pomza hammaddesi 1mm ve 2 mm lik elekten elenerek iki farklı tane sınıfına ayrıldı.

Deneyde karşılaştırmalı sonuçlar alabilmek için üç ayrı seride deney örneği hazırlanmıştır.

(A) Serisi: % 100 Kil,

(B) Serisi: %75 kil+%25 pomza (1 mm),

(C) Serisi: %75 kil+%25 pomza (2 mm).

Bütün malzemeler önce etüv kurusu hale getirildikten sonra hassas terazide tartılarak belirlenen oranlarda alınmıştır. Önce pomza hammaddesi üzerine su sprey yapılarak su emmesi sağlanmış ve belirlenen oranlarda alınan kil ve pomza malzemesi sert plastik kıvama gelinceye kadar su ilave edilerek el ile yoğrulmuştur. Bu üç farklı seri olarak hazırlanan çamur rutubetini kaybetmeyecek biçimde 24 saat desikatörde bekletildikten sonra plastik şekillendirmeye hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan karışım deney numunesi kalıbında 30\*100 mm boyutunda 7 kg/cm<sup>2</sup> basınç ile kalıplanmıştır. Tel kesme aparatı ile numuneler 60 mm boyutunda kesilmiştir. Her bir deney serisi için basınç deneyinde kullanılmak üzere 9 adet numune üretilmiştir. Örneklerin yaş tartıları ve boyut uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir.

#### 2.2.2. Kurutma

Deney örnekleri değişmez ağırlığa gelinceye kadar (ortalama 6 saat) 110 °C de etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonunda numuneler ortam koşullarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21 °C) getirilmiştir. Kuru ağırlıkları ve boyut ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir.

#### 2.2.3. Pişirme

Şekillendirme ve kurutma işlemi tamamlanmış numunelerle ilgili gerekli veriler (hassas tartım ve boyut ölçümleri) saptandıktan sonra yapı tuğlaları için uygun olan 900 °C sıcaklıkta elektrikli kül fırınında pişirilmiştir. Pişirme süresi 8 saat olarak alınmıştır. Pişirme sonunda numuneler yeterli sıcaklığa kadar soğutulduktan sonra ortam şartlarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21 °C) geldikten sonra hassas tartım ve boyut ölçüm işlemleri yapılmıştır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Kil numunelerinden elde edilen kimyasal analiz sonuçları verilen literatür değerlerle karşılaştırıldığında; SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve kızdırma kaybı değerlerinin uygun olduğu, 0,3 olarak verilen SO<sub>3</sub> değerinin 1,27 ve max 3,6 olarak verilen K<sub>2</sub>O değeri 4,00 olarak saptanmıştır. Buna göre SO<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O değerlerinin literatür değerlerinden bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Ancak kil hammaddesinde kimyasal yapıdan

ziyade fiziksel davranışların önemli olduğu kabul edilmektedir. Pomza numunesinin sonuçlarının da literatür değerlerle uygunluk sağladığı görülmektedir (10).

### 3.2. Karbonat Tayini

Kil numuneye uygulanan karbonat tayini sonucunda; % 8,55 CO<sub>3</sub> saptanmıştır. Elde edilen bu değer TS 705 e göre verilen literatür değere (% 8-15) uygundur. Ancak kilin elek analizinde 2 mm nin üzerinde karbonat tanelerine sıklıkla rastlanmıştır. Bunun için kil 1 mm lik elekten elenerek iri karbonat tanelerinin pişmiş ürüne zarar vermesi engellenmiştir.

### 3.3. Plastik Suyu Tayini

Elde edilen plastik suyu değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Buna göre pomza katkısının plastisiteyi etkilemediği ve elde edilen sonuçların literatür değerlere (TS 705) uygunluk sağladığı görülmektedir.

Tablo 2 Plastik suyu değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (%)	TS 705 e Göre Değerler (%)
A	% 100 Kil	24,34	13,20-40,7
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	23,35	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	22,44	

### 3.4. Kurutma Küçülmesi Değerleri

110 °C de elde edilen kuruma küçülmesi değerleri TS 705 de verilen değerlere uyum sağladığı ve pomza katkısının kuruma küçülmesini azalttığı belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kuruma küçülmesi değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (%)	TS 705 e Göre Değerler (%)
A	% 100 Kil	7,9	8
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	7,85	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	6,50	

### 3.5 Toplam Doğrusal Küçülme Değerleri

900 °C de pişirilen numuneler üzerinde elde edilen toplam doğrusal küçülme değerinin TS 705 e göre literatür değerlerle uyum sağladığı ve

pomza katkısının küçülmeyi azaltarak olumlu etki yaptığı görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Toplam doğrusal küçülme değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (%)	TS 705 e Göre Değerler (%)
A	% 100 Kil	7,44	10
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	7,07	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	5,86	

### 3.6. Su Emme Değerleri

Pomza katkılı serilerden B serisi; TS 705 e göre literatür değerler içerisinde kaldığı, C serisinin ise literatür değeri geçtiği görülmektedir. Pomza dane çapının artması ile su emme oranı arasında doğrusal bir bağıntı olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Su emme değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (%)	TS 705 e Göre Değerler (%)
A	% 100 Kil	11,88	18
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	15,21	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	19,51	

### 3.7 Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Saptanan birim hacim ağırlığı değerleri Tablo 6 da verilmiştir. Buna göre pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerinin TS 705 e göre dolu tuğlalar için verilen değerlerin altında kaldığı, tuğlaya göre daha hafif bir bünye elde edildiği saptanmıştır. İnce taneli (1 mm) pomza katkısının, iri taneli (2 mm) pomza katkısına göre birim hacim ağırlığında bir miktar artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak tane yapısının incelenmesi ile birlikte, toplam porozitede meydana gelen azalmanın yol açtığı düşünülmektedir.

Tablo 6. Birim hacim ağırlık değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (t/m <sup>3</sup> )	TS 705 e Göre Değerler (t/m <sup>3</sup> )
A	% 100 Kil	1655	1801-2000
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	1457	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	1275	

### 3.8. Basınç Dayanım Değerleri

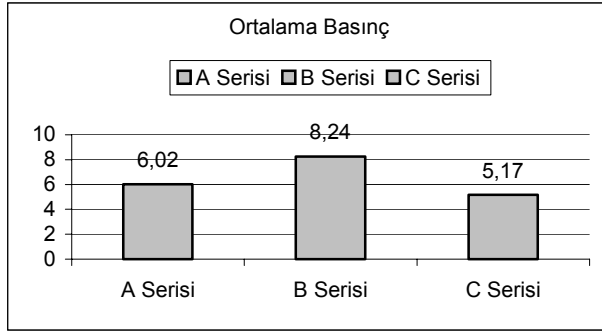
Basınç dayanımlarının ince taneli (1 mm) pomza katkılı seride Deprem Yönetmeliğinde verilen değerlere uygun olduğu, buna karşın iri taneli

(2 mm) pomza katkılı seride bazı deney sonuçlarını değerlerin altında gerçekleştiği saptanmıştır (tablo 7).

Tablo 7. Basınç dayanım değerleri

Seri No			TS 705 e Göre Değerler(MPa)
A	B	C	
6,15	8,65	5,55	min.: 4,5 MPa  *Deprem Yönetmeliğine Göre: min.: 5,0 MPa
5,90	8,50	4,90	
6,20	7,90	4,80	
6,05	8,45	5,20	
5,95	8,40	5,15	
5,70	7,85	4,95	
6,30	8,30	5,35	
6,25	8,20	5,40	
5,70	7,95	5,25	

Şekil 1 de her üç seriye ait basınç dayanımının ortalama değerleri verilmektedir.



Şekil 1. A,B ve C Serilerine ait ortalama basınç dayanımları (Mpa)

Tablo 9. Tuğla numuneleri Basınç Dayanım Değerleri (MPa)

Numune Sayısı	Referans Numune (%100Kil)	%75Kil + %25 Pomza (-1mm)	%75Kil + %25 Pomza (-3+2mm)	
1	6,15	8,65	5,55	
2	5,90	8,50	4,90	
3	6,20	7,90	4,80	
4	6,05	8,45	5,20	
5	5,95	8,40	5,15	
6	5,70	7,85	4,95	
7	6,30	8,30	5,35	
8	6,25	8,20	5,40	
9	5,70	7,95	5,25	
T <sub>j</sub>	54,2	74,2	46,55	T= 174,95
n <sub>j</sub>	9	9	9	N= 27
$\sum_{j=1}^{n_j} Y_{ij}^2$	326,8	612,19	242,78	$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 = 1181,77$

### 3.9. Kızdırma Kaybı

Elde edilen kızdırma kaybı değerleri TS 705 de verilen literatür değerleri geçmediği ve pomza

katkısının kızdırma kaybını bir miktar azaltarak olumlu katkı yaptığı saptanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Kızdırma kaybı değerleri

Seri Adı	(%) Karışım	Deney Sonuçları Ortalaması (Ağırlıkça % Kayıp)	TS 705 e Göre Değerler (Ağırlıkça % Kayıp)
A	% 100 Kil	8,71	10-13
B	%75 kil+ %25 pomza (1mm)	6,94	
C	%75 kil+ %25 pomza (2mm)	7,09	

### 3.10. Kireç ve Manyezit Testi

Kireç ve manyezi deneyine giren her üç seriye ait örnekler ayrı ayrı gözle muayene edilerek incelenmiştir. Numunelerde önemli sayılabilecek; çatlama, kopma, pullanma, dağılma vb. herhangi bir hasarın oluşmadığı gözlenmiştir.

### 4. POMZA KATKISININ TUĞLA BASINÇ DAYANIMINA AİT ANALİZ

Tuğla kili içersindeki pomza miktarının tuğla basınç dayanımına etkisine ait veriler Tablo 9 da verilmiştir.

Matematiksel model denklemini;  $Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \varepsilon$  olarak kurulmuştur. Bunun için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

Genel kareler toplamı

$$KT_{\text{genel}} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} = 46,86$$

Denemeler arası kareler toplamı

$$KT_{deneme} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \frac{T_{ij}^2}{n_j} - \frac{T^2}{N} = 45,3 \text{ olarak}$$

bulunmuştur. Buradan

Hata kareler toplamı

$$KT_{hata} = KT_{genel} - KT_{deneme} = 1,56 \text{ olarak bulunur.}$$

Bulunan bu değerden yararlanarak

Genel kareler toplamı

$$KO_{genel} = \frac{KT_{deneme}}{(k-1)} = 22,65 \text{ olarak bulunur.}$$

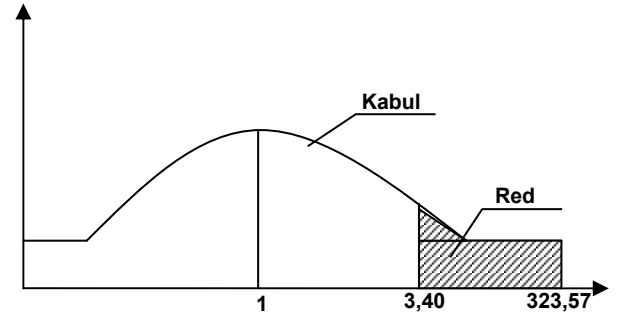
Hata kareler ortalaması ise

$$KO_{hata} = \frac{KT_{hata}}{(N-k)} = 0,07 \text{ olarak hesaplanır}$$

ve buradan elde ettiğimiz verilere “F testi” ile  $F_{hesap}$  aşağıdaki gibi hesaplanır

$$F = \frac{KO_{genel}}{KO_{hata}} = 323,57$$

Bulunan bu değer Tablo 10 daki varyans çözüm tablosuna aktarılır.



Şekil 2. “F” Testi Grafiği (α = 0,05 )

#### 4.1. Pomzanın Tuğlanın Basınç Değerlerine Ait Dik Doğrusal Bağlıtların Kurulması ve Test Edilmesi

Varyans analizinin kontrolü için, deneyimizde serbestlik derecesi (sd) 2 olduğunda numuneler arasında iki adet dik doğrusal bağıntı kurulabilir. Buna göre;

$$C_1 = T_1 \quad -T_3$$

$$C_2 = T_2 \quad -T_3 \text{ olarak dik doğrusal bağıntılar kurulmuştur.}$$

Tablo 10 Pomzanın Tuğlanın Basınç Dayanımına Ait Varyans Çözümleri

Kaynak	Pomza	$KT_{deneme}$	$KO_{genel}$	F
Denemeler Arası	$(k-1) = 2$	45,3	22,65	$F_{hesap} = 323,57$
Denemeler İçi	$(n-k) = 24$	1,56	0,07	$F_{tablo} = 95F_{2,24} = 3,40$ $F_{hesap} > F_{tablo}$
Toplam	26	46,86	323,57	Hipotez Red olur.

$\alpha = 0,05$  anlamlılık düzeyi dikkate alınırsa “F” dağılım tablosundan  $F_{2,24} = 3,40$  olarak bulunur. Hipotez red olduğu için Pomza katkısının tuğla basınç dayanımına etkisi olduğu kabul edilmiştir. İlgili anlamlılık grafiği Şekil 2 deki gibidir.

Kurulan iki doğrusal bağıntı için  $T_j$  nin bağıntıları Tablo 11 de verilmiştir.

Tablo 11  $T_j$  Bağıntıları

	T1	T2	T3
C <sub>1</sub>	+1	0	-1
C <sub>2</sub>	0	+1	-1

Tablo 9 da verilen dik doğrusal bağıntı katsayılarından yararlanarak;

$$C_m = \sum_{j=1}^k C_{jm} T_{jm} \sum C_m = 0 \text{ ifadeleri}$$

kullanılıp

$$C_1 = (54,2)(1)+(74,2)(0)+(46,55)(-1) = 7,65$$

$$C_2 = (54,2)(0)+(74,2)(1)+(46,55)(-1) = 27,65$$

değerleri hesaplanmıştır.

Bunlara ilişkin kareler toplamı  $KT_{cm} =$

$$\frac{C_{2m}}{\sum_{j=1} C_{2m}} \text{ ifadesi kullanılarak hesaplanırsa;}$$

$$KT_{cm} = \frac{C_{2m}}{9 \sum_{j=1}^3 C_{2m}} \text{ yazılır.}$$

$$KT_{c1} = \frac{C_{m2}}{n(2)} = 3,05$$

$$KT_{c2} = \frac{C_{m2}}{n(2)} = 42,25 \text{ olarak bulunur.}$$

Burada her bir dik doğrusal bağıntı için hipotez testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Deneme kareler toplamı

$$KT_{c1} + KT_{c2} = 45,3$$

Her bir kareler toplamı 24 serbestlik dereceli hata ortalamasıyla test edilebilir.

$${}_{95}F_{1,24} = 3,40 \text{ olarak tablodan bulunur.}$$

$H_1 : T_1 = T_3 \quad F_{1,6} = 3,05 < 3,40 \quad H_1 \text{ red olmaz}$

$H_2 : T_2 = T_3 \quad F_{1,6} = 42,25 > 3,40 \quad H_2 \text{ red olur.}$

Yapılan "F" testi neticesinde ikinci hipotez reddedildi. Birinci ve ikinci tuğla numuneleri arasında önemli fark vardır. Aynı şekilde ikinci ve üçüncü numunelerin arasında ise basınç dayanımları açısından önemli bir fark vardır. Analiz sonucu olarak 2mm dane çapındaki Pomza katkısının tuğlanın basınç dayanımını etkileyerek; basınç dayanımını düşürdüğü görülmüş; 1 mm dane çapındaki

pomza katkısının ise basınç dayanımına olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Ankara ve çevresinde bulunan tuğla toprağı ile Isparta bölgesinden alınan pomza hammaddesi kullanılarak ekstrüzyon presleme yöntemi ile üretilen deney numunelerine standart test ve deneyler uygulanmış ve bu tuğla ürünlerin mekanik özellikleri saptanmıştır. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırılarak üretilen örneklerin inşaat sektörü açısından uygunluğu araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Plastisite sonuçları değerlendirildiğinde; pomzalı karışım serilerinde tuğla killeri için TS 705 de verilen %13 ile %40 değerini geçmediği ve uygun olduğu görülmüştür.

Kuruma küçülmesi sonuçları bütün karışım serilerinde tuğla killeri için TS 705 de verilen max %8 değerini geçmediği; pomza katkısının küçülme değerini azaltarak olumlu etki yaptığı saptanmıştır.

Toplam küçülme değerleri her üç seride de tuğla killeri için TS 705 de verilen max %10 değerini geçmediği ve uygun olduğu saptanmıştır. Pomza katkılı numunelerde katkısız numunelere göre; hem kuruma ve hem de toplam küçülme değerlerinde azalma saptanmıştır. Bu sonuç pişirme sürecine olumlu katkı sağlayacağı gibi standart boyutta ürün eldesini de kolaylaştıracaktır.

Su emme değerleri bakımından C serisi (%25 katkılı pomza 2 mm) numunelerde TS 705 de verilen %18 su emme değerini geçtiği görülmüş, B serisi (%25 katkılı pomza 1 mm) numunelerde ise bu değeri geçmediği görülmüştür. Bu artışa karışıma giren pomza hammaddesinin gözenekli yapısının neden olduğu düşünülmektedir.

Pomza katkısının birim hacim ağırlığı değerlerinde azalmaya yol açtığı saptanmış olup buna pomza hammaddesinin gözenekli bünye yapısının neden olduğu düşünülmektedir. Pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlığının azalması toplam bina yüklerinde bir azalmaya yol açacağı ve gözenekli bünye yapısı nedeniyle normal tuğlaya göre daha iyi ısı ve ses izolasyonu özelliğine sahip olduğu düşünülmektedir.

Basınç dayanımı bakımından ince taneli (B Serisi) pomza katkılı (1 mm) tuğlanın deprem yönetmeliğinde verilen değerlere uygun olduğu ve mukavemeti olumlu yönde etkilediği, (C Serisi)

pomza katkılı (2 mm) tuğlada ise basınç dayanımında azalma görülmüş ve standart değerlerin altında bir değer elde edilmiştir.

Pomza katkısının ateş zayıyatı değerlerini azaltıcı yönde etkilediği ve olumlu bir katkı yaptığı saptanmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda iki farklı tane boyutunda (1mm ve 2mm) pomza hammadde-sinin tuğla üretiminde kullanılan kil ile karıştırılması sonucu üretilen deney örneklerinin üretim süreçleri ve mekanik özellikleri saptanmıştır. Buna göre (B Serisi) 1 mm tane boyutunda pomza katkılı üretilen tuğla numunelerinde yeterli basınç dayanımı elde edildiğinden hem yığma yapı sistemlerinde hem de karkas yapılarda bölme duvar yapımında kullanılması mümkün olabilecektir. Buna karşılık (C Serisi) 2 mm tane boyutunda pomza katkılı üretilen tuğla numunelerinde yeterli basınç dayanım değerlerini sağlayamadığı için yığma yapı sistemlerinde kullanılamayacağından karkas yapılarda bölme duvar yapımında kullanılması uygun olacaktır. Pomzanın kapalı gözenekli yapısının tuğla ürünün bünyesinde de gözenekli bir yapı oluşturacağı ve tuğlanın ısı yalıtım değerinin araştırılması konusunda ayrı bir çalışmanın yapılması yararlı olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Güzel, A., G., "Ponza Katkılı Tuğla Üretimi ve Bu Tuğlaların Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi" İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. İstanbul, 1993.
2. Niemann, R., "Pollution-Free Core-Forming of Bricks and Bloks with Perlite" ZI, Ziegelind. Int., Vol 43, No. 4, pp. 222-232, 1990.
3. Singer, F., Singer, S.S., "Industrial Ceramics" Champman and Hall, Inc., London, 1963.
4. Grim, R.E., "Clay Mineralogy" Mc. Graw-Hill, New York., 1953.
5. Engelthaler, Z., Engelthaler, K., "Principles of the Production of Refractory Light-Weight Bricks by the Foaming Method" Interceram., Vol. 16, No. 1, pp 57-68, 1967.
6. Isenhour, C.T., "Sawdust Addition to a Shale Body" American Ceram., Soc., Bull., Vol. 58, No. 12, pp 1197-1198, 1979.
7. Köhler, A., "Use of Industrial Wastes with Combustible Components in the Brick and Tile Industry" ZI, Ziegelind Int., Vol. 41, No. 9, pp 441-445, 1988.
8. Okongwu, D.A., Paranthaman, V., "Effect of Particle Size of Coal Additive on the Burnt Properties of Clay Brick" American Ceram., Soc., Bull., Vol. 68, No. 11, pp 1963-1966, 1966.
9. Mörtel, H., Distler, P., "Use of Fly Ash in the Production and Proses Optimization of Backing Bricks" Part I, ZI, Ziegelind Int., Vol. 44, No. 8, pp 424-428, 1991.
10. Demir, İ., "Afyon Bölgesi Tüflerinin Tuğla Üretiminde Kullanılması" Doktora Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
11. TS 705 "Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1986.
12. TS 4790 "Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1986