



## Varyans (ANOVA) analizi yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi

\*Harun TANYILDIZI<sup>1</sup>, Ahmet COŞKUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi Tek. Eğt. Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

### ÖZET

#### Anahtar

#### Kelimeler:

Hafif beton, Silis dumanı, Varyans (Anova) analizi, Basınç dayanımı, Yarmada çekme dayanımı.

Bu çalışmada, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına deney parametrelerinin etkisi varyans (anova) analizi kullanılarak belirlenmiştir. Hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı deney parametreleri, silis dumanı dört seviyeli (% 0, % 10, % 20 ve % 30) ve çimento dozajı iki seviyeli (400 ve 500 kg/m<sup>3</sup>) olarak tanımlanmış ve Taguchi ortogonal dizi ile deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Numunelerin hazırlanmasında maksimum tane çapı 16 mm olan pomza taşı kullanılmıştır. 28 gün 20±2 °C de su küründe bekletilen numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına en büyük etkiyi silis dumanının yaptığı anova yöntemiyle bulunmuştur. Ayrıca en yüksek değerler, % 20 oranında silis dumanı ve 500 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı kullanıldığında elde edilmiştir.

## Determination of the effects of experimental parameters on mechanical properties of lightweight concrete containing silica fume with variance (ANOVA) analysis methods

### ABSTRACT

#### Key Words:

Lightweight concrete, Silica fume, Variance (Anova) analysis, Compressive strength, Splitting tensile strength.

In this study, the effect of experimental parameters on compressive and splitting tensile strength of lightweight concrete was determinate using variance (anova) analysis. Four level of silica fume (0 %, 10 %, 20 % ve 30 %) and two level of cement dosage (400 and 500 kg/m<sup>3</sup>) for experimental parameters of compressive and splitting tensile strength have been determined and design of experiment has been conducted by Taguchi orthogonal array. Maximum grain diameter of pumice stone is 16 mm. The specimens were cured in 20±2 °C water for 28 day. The specimens were tested for compressive and splitting tensile strength. The results showed that based on the variance (anova) method, the silica fume has an utmost importance on compressive and splitting tensile strength. Also, the high values of 20% silica fume and 500 kg/m<sup>3</sup> cement content used is obtained.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding author) e-posta: acoskun@firat.edu.tr.

## 1. Giriş

Pomza (bims), volkanizma faaliyetleri sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani terk etmesi sonucu oluşan, gözenekli bir yapıya sahip, volkanik kökenli bir malzemedir. Gözenekli olmasından dolayı ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahiptir. Sünger görümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle  $1 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçük, camsı doku özelliği gösteren bir malzemedir [1]. Boşluklu bir yapıya sahip olmasından dolayı hafiftir. % 75 oranında boşluk içermektedir. Pomza taşı amorf bir yapıya sahiptir [2].

Volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşur. Bunlar; asidik pomza ve bazik pomzadır. Bazik pomzanın rengi koyudur ve birim hacim ağırlığı asidik pomzaya göre oldukça fazladır ( $1.2-2 \text{ gr/cm}^3$ ). Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü asidik pomzadır. Bu tür yapıdaki silisyum, potasyum ve sodyum nedeniyle açık gri / kirli beyaz renktedir. Gözeneklerin neredeyse tümü birbirleri ile bağlantılı değildir. Pomzanın fazla gözenekliliğinden dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür [3].

Türkiye'de normal yoğunluktaki agregalar kullanılarak üretilen normal betonlar, maliyetinin ucuz olması, yüksek dayanımı ve kolay işlenebilme özelliği gibi sebeplerden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır [4]. Normal agregadan yapılmış betonarmenin birim ağırlığı  $2400-2500 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmaktadır. Bu betonlar ile üretilen yapılar yüksek taşıma kapasitesine sahiptirler. Ancak birim ağırlıklarının fazla olması yüksek binaların inşasında problem oluşturmakta, özellikle zemini zayıf olan yapıların temellerinin maliyeti artmaktadır [5]. Dolayısıyla normal betonlarla aynı işlevi sağlayabilen hafif betonların, betonarme betonunda taşıyıcı amaçlı olarak kullanılabildikleri de yapılan araştırmalarla belirlenmiştir [6,7]. Pomzadan üretilen yapı elemanları ısı ve ses yalıtımı sağlaması nedeniyle, yapı endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahiptirler [8].

Bu çalışmada, agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak silis dumanı ve iki farklı çimento dozajı kullanılarak hazırlanan numunelerin 28 gün sonunda basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri ölçülmüştür. Elde edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerine deney parametrelerinin etkisi varyans (anova) analizi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

## 2. Materyal metot

### 2.1. Malzemeler

Deneylerde kullanılan çimento, Elazığ Çimento Fabrikasından temin edilmiş olup TS EN 197-1-CEM I 42.5 N sınıfına giren ve özgül ağırlığı  $3.10 \text{ gr/cm}^3$  çimentodur. Üretilen taşıyıcı hafif betonun niteliğini geliştirmek için kullanılan silis dumanı ise Antalya Eti Elektrometalürji A.Ş. tesisinden temin edilmiştir. Deneylerde agrega olarak, Elazığ ili pomza yataklarından elde edilen, siyahımsı renkli bazik pomza taşı kullanılmıştır. Agreganın özellikleri Tablo 1' de, silis dumanı ile çimentonun kimyasal özellikleri ise Tablo 2' de verilmiştir. Betonun daha iyi sıkıştırılabilmesi ve işlenebilmesini sağlamak için, yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı ve sertleşmeyi hızlandırıcı özelliğe sahip olan "Rheobuild 1000" katkısı kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Agreganın fiziksel özellikleri

$d_{\max}$ (mm)	Pomza Özgül Ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ )	Su Emme Miktarı (%)
16	2.00	23.00

**Tablo 2.** Çimentonun, silis dumanın ve agreganın kimyasal özellikleri

% Ağırlık olarak	Portland Çimentosu	Silis Dumanı	Bazik Pomza
SiO <sub>2</sub>	21.12	91	45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.62	0.58	21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.24	0.24	7
CaO	62.94	0.71	11
MgO	2.73	0.33	7
LOI	1.42	1.84	-
Özgül Yüzey Alanı ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ )	3430	-	-
Özgül Ağırlık ( $\text{gr/cm}^3$ )	3.1	2.2	-

### 2.2. Deneylerin tasarımı

Maliyetleri düşük seviyede tutmak için en az deney yapma prensibine dayanan yöntemlerden biriside Japon bilim adamı Dr. Taguchi' nin geliştirmiş olduğu "Taguchi Yöntemi" dir [9]. Basınç ve yarmada çekme dayanımı genellikle üretim faktörlerine bağlıdır. Bu çalışmada, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı açısından optimum parametreleri Taguchi deney tasarımı tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda da bu yöntemin, betonun dayanımı bakımından optimum parametreleri belirlemek için kullanıldığı görülmüştür [10,11]. Hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına etki eden faktörler, betonda kullanılan çimento dozajı ve silis dumanın katkı yüzdesi olarak belirlenmiş ve  $L_8 (2^1 \times 4^1)$  ortogonal dizisi deney planı olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan herhangi bir basınç ve yarmada çekme dayanımı parametresinin değiştirilme sayısı seviyeyi, değişkenin aldığı değerde seviyenin değerini gösterir. Tablo 3' de deneylerde kullanılan değişkenlerin seviyesi verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi silis dumanı dört seviyeli ve çimento dozajı iki seviyeli olarak seçilmiştir. Deneylerin tasarımı Taguchi yöntemiyle yapıldıktan sonra beton karışım oranları hazırlanmıştır. Beton karışım oranları Tablo 4' de verilmiştir. Hazırlanan karışımlar, her defasında 25' er kez şişlenerek 3 aşamada  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  küp ve  $100 \times 200 \text{ mm}$  silindir kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra numuneler, 1 gün bekletilip kalıplar söküldükten sonra 28 gün su kürüne tabi tutulmuşlardır.

**Tablo 3.** Deneylerde kullanılan değişkenlerin seviyeleri

Değişkenler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Silis dumanı, S (%)	0	10	20	30
Çimento dozajı, D (kg/m <sup>3</sup> )	400	500	-	-

**Tablo 4.** Beton karışım oranları

Beton serisi	Çimento dozajı (kg/m <sup>3</sup> )	Silis dumanı (kg/m <sup>3</sup> )	Su/Çimento	Agrega (kg/m <sup>3</sup> )	Akışkanlaştırıcı
LW 500 S0	500	-	0,77	820	6
LW 500 S10	450	50	0,77	805	6
LW 500 S20	400	100	0,77	790	6
LW 500 S30	350	150	0,77	775	6
LW 400 S0	400	-	0,77	1038	4,8
LW 400 S10	360	40	0,77	1028	4,8
LW 400 S20	320	80	0,77	1015	4,8
LW 400 S 30	280	120	0,77	1005	4,8

### 2.3. Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyi

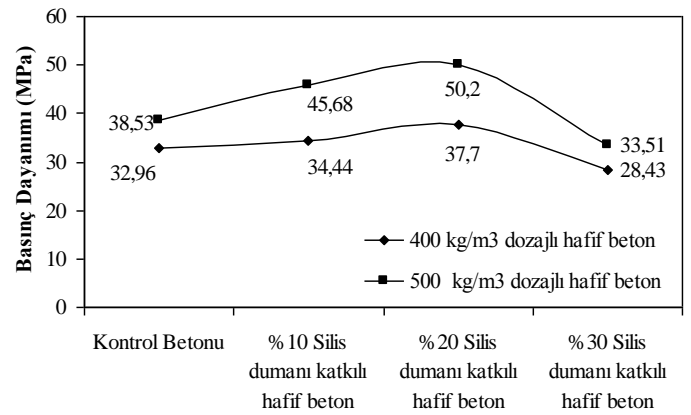
Basınç ve yarmada çekme dayanım deneyi her yaş için 3' er adet 100×100×100 mm ve 100×200 mm ölçülerindeki numuneler üzerinde uygulanmıştır. Basınç dayanım deneyi TS EN 12390-3' e göre yapılmıştır [12]. 28 gün sonunda numuneler 3000 kN yükleme kapasitesine sahip otomatik kontrollü preste kırılarak dayanım değerleri bulunmuştur.

## 3. Bulgular

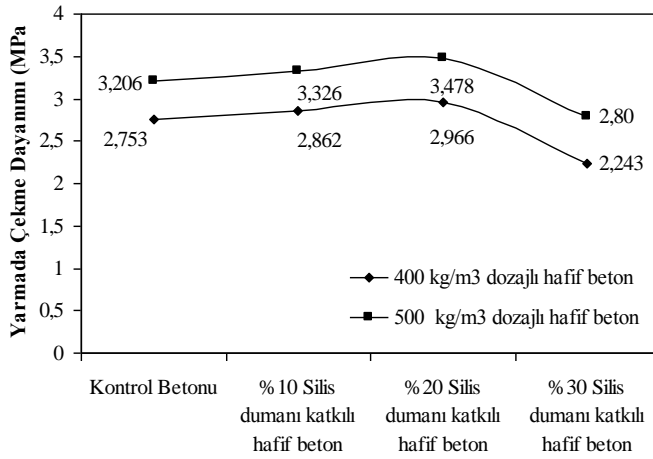
### 3.1. Deneysel bulgular

Bu çalışmanın deneysel bölümünde, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına silis dumanının yüzde oranının ve çimentonun dozajının etkisi araştırılmıştır. Silis dumanı yüzde olarak (%0, %10, %20, %30) çimentonun ağırlığıyla yer değiştirilmiştir. Çimento dozajı 400 ve 500 kg/m<sup>3</sup> seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, 20±2 °C' de standart kür uygulanan numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımı grafiği Şekil 1 ve Şekil 2 'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi % 20 silis dumanı katkılı beton numuneleri, % 10 silis dumanı katkılı beton numuneleri ve kontrol betonu numunelerine göre en büyük basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerini vermiştir. Burada silis dumanı, çimento hidratasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı gelişiminde etkili olmaktadır [13, 14]. Ayrıca silis dumanının tane boyutu, çimento tane boyutundan çok daha küçük olduğu için agrega/çimento ara yüzeyinde puzolanik aktiviteden daha önemli olan, boşlukları doldurma etkisi gerçekleştirerek daha yoğun bir agrega-bağlayıcı ara yüzeyi oluşturmaktadır [15]. Çalışmada kullanılan silis dumanının % 30 oranında arttığında

hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımında azalma görülmüştür. Ayrıca çimento dozajı artıkça hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımında belirgin bir artış görülmüştür.



**Şekil 1.** Hafif beton numunelerinin basınç dayanımı grafiği



Şekil 2. Hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı grafiği

### 3.2. Deneysel bulguların varyans (anova) analizi

Bu çalışmada, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımlarına deney parametrelerinin etkisi Varyans (Anova) analizi kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel değerler ile arzu edilen değerler arasındaki sapmayı hesaplamak için bir kayıp fonksiyonu (loss function) kullanılır. Bu kayıp fonksiyonu neticesinde elde edilen veriler daha sonra arzu edilen değerden sapan performans karakteristiğini belirlemek için bir dönüşümüne sokulur. Bu dönüşüm, sinyal-gürültü oranı S/N (signal-to-noise ratio) olarak adlandırılır ve  $\eta$  ile gösterilir. S/N oranının

analizinde, “daha düşük daha iyidir”, “nominal daha iyidir” veya “daha yüksek daha iyidir” gibi kayıp fonksiyonları kullanılabilir [16]. Bu çalışmada, basınç ve yarmada çekme dayanımının yüksek olması daha iyi olduğu için “daha yüksek daha iyidir” kayıp fonksiyonu kullanılmıştır. LB kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L_{ij} = \frac{1}{r_a} \sum_{i=1}^{r_a} \frac{1}{y_i^2} \quad (1)$$

Burada  $L_{ij}$  j’nci testteki i’nci performansın kayıp fonksiyonu,  $r_a$  bir denemede testlerin sayısı  $y$  ise her bir test için ölçülen değerdir. Bu kayıp fonksiyonu için S/N oranı ( $\eta$ ) ise:

$$S/N_{LB} = -10 \log(L_{ij}) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Deney sonuçlarının S/N oranlarının tespitinde Tablo 3’ de verilmiş olan faktörler ve seviyeler kullanılmıştır. Deneyler ve ölçümler yapıldıktan sonra, toplanan veriler her bir parametrenin performans istatistiği üzerinde etkisini belirlemek ve optimum değerleri saptamak üzere Taguchi metoduyla analiz edilmiştir. Her parametrenin basınç ve yarmada çekme dayanımına etkisi hesaplanmıştır. Taguchi analizi sonuçları Tablo 5–6 ve Şekil 3–4’ de verilmiştir.

Tablo 5. Hafif betonun basınç dayanımının S/N oranı

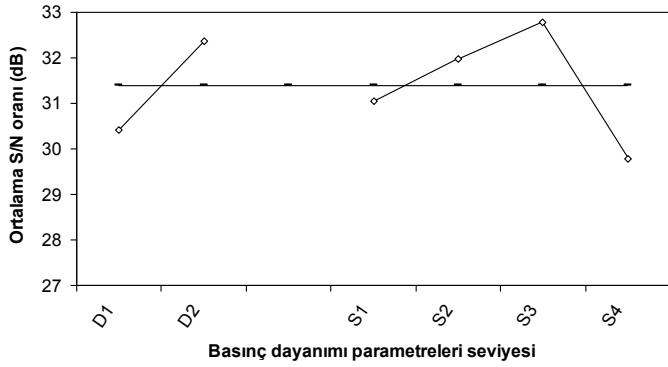
	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Çimento, D (kg/m <sup>3</sup> )	30.425843	32.357016 <sup>h</sup>	-	-
Silis dumanı, S (%)	31.037862	31.967892	32.770451 <sup>h</sup>	29.789513
Ortalama S/N oranı =31.391430 dB.				
<sup>h</sup> Optimum seviyeler				

Tablo 6. Hafif betonun yarmada çekme dayanımının S/N oranı

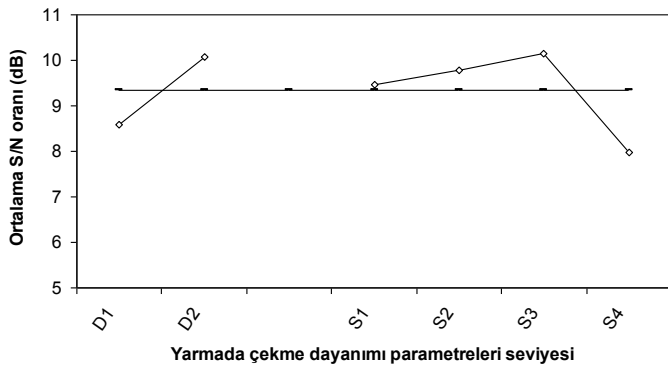
	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Çimento, D (kg/m <sup>3</sup> )	8.597381	10.077986 <sup>h</sup>	-	-
Silis dumanı, S (%)	9.457697	9.785919	10.135007 <sup>h</sup>	7.972111

Ortalama S/N oranı =9.337684 dB.

<sup>h</sup> Optimum seviyeler



Şekil 3. Hafif betonun basınç dayanımına deney parametrelerinin seviyelerinin etkisi



Şekil 4. Hafif betonun yarmada çekme dayanımına deney parametrelerinin seviyelerinin etkisi

Şekil 3 ve Şekil 4, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı için S/N cevap grafiğidir. Daha büyük S/N oranları arzu edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerini vermektedir. Bu şekillerdeki silis dumanı katkı oranını (S1, S2, S3 ve S4) dikkate alırsak silis dumanı arttıkça S/N oranının büyümesi hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının artması anlamına gelmektedir. Grafiklerdeki ortalama çizgi, çalışmada kullanılan deney parametrelerinin seviyeleri içerisinde basınç ve yarmada çekme dayanımı için elde edilebilecek ortalama değerleri göstermektedir. Şekil 3 ve

Şekil 4' den görüleceği gibi, %20 oranında silis dumanı katkısı ve 500 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı kullanıldığında en büyük basınç ve yarmada çekme dayanımı elde edilmiştir.

Hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı için yapılan varyans analizinin sonuçları Tablo 7 ve Tablo 8' de verilmiştir. Tabloda gösterilen  $F_{A0}$  değeri bir faktörün F testi değeri olup, faktörün F test değeri

$$F_{A0} = \frac{V_A}{V_e} \quad (3)$$

ile hesaplanır. Burada  $V_A$ , faktör A'nın varyansı ve  $V_e$  ise hatanın varyansıdır. Bulunan  $F_{A0}$  değeri, standart F testi tablolarındaki serbestlik dereceleri kullanılarak okunan F değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu değer tablodaki değerden büyükse yani

$$F_{A0_{\text{hesaplanan}}} > F_{A0_{\text{tablo}}} \quad (4)$$

ise A faktörü önemlidir. Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı P (percent contribution), o faktörün karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir. Yani:

$$P = \left[ \frac{SS_A}{SS_T} \right] \times 100 \quad (5)$$

şeklinde dir. Faktör A'nın karelerinin toplamı

$$SS_A = \frac{\sum \eta_{Ai}^2}{N} - SS_m \quad (6)$$

şeklinde dir. Burada N herhangi bir A parametresinin seviye sayısı,  $\eta$  S/N oranı ve  $SS_m$  ise ortalamanın kareleri toplamıdır. Bağımsız her bir çift için serbestlik derecesi f 1'dir. Yani kullanılan faktörlerin seviye sayılarının bir eksiği serbestlik derecesini verir.

Tablo 7. Hafif betonun basınç dayanımı için Varyans (Anova) analizi sonuçları

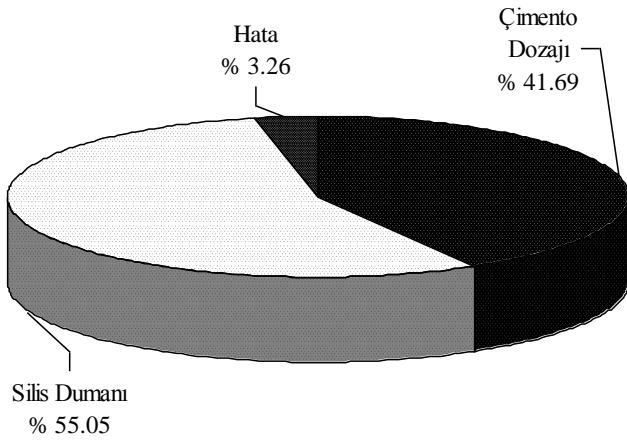
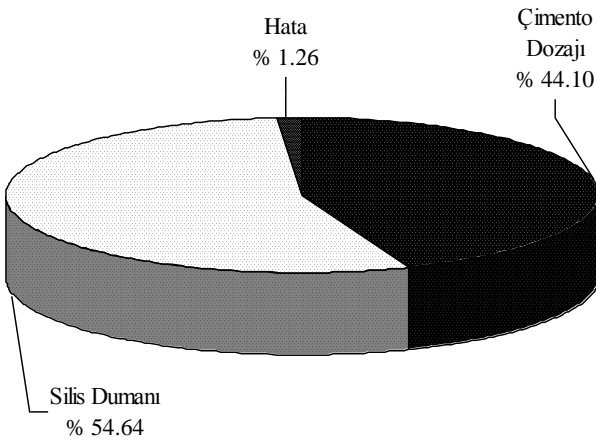
	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı ( $SS_A$ )	Varyans ( $V_A$ )	$F_{A0}$	% Dağılım
Çimento, D (kg/m <sup>3</sup> )	1	7.458862	7.458862	38.395725	41.688341
Silis dumanı, S (%)	3	9.850311	3.283437	16.902035	55.054395
Hata	3	0.582788	0.194263	-	3.257264
Toplam	7	17.891962	-	-	100



**Tablo 8.** Hafif betonun yarmada çekme dayanımı için Varyans (Anova) analizi sonuçları

	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı (SS <sub>A</sub> )	Varyans (V <sub>A</sub> )	F <sub>A0</sub>	% Dağılım
Çimento, D (kg/m <sup>3</sup> )	1	4.384379	4.384379	105.061433	44.102950
Silis dumanı, S (%)	3	5.431664	1.810555	43.385724	54.637702
Hata	3	0.125195	0.041732	-	1.259347
Toplam	7	9.941238	-	-	100

Şekil 5 ve 6' da hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına deney parametrelerinin etkileri görülmektedir. Bu şekillerde görülebileceği gibi, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımına silis dumanı %55.05 ve %54.64 olarak en büyük etkiyi yapmıştır. Yapılan deneyler için hata yüzdesi ise, %3.25 ve %1.26 olarak bulunmuştur.

**Şekil 5.** Varyans (Anova) analizi sonucuna göre deneysel parametrelerin basınç dayanımına % etkisi**Şekil 6.** Varyans (Anova) analizi sonucuna göre deneysel parametrelerin yarmada çekme dayanımına % etkisi

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, hafif betonun mekanik özelliklerine çimento dozajının ve silis dumanının etkisi deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Pomza taşı ile elde edilen taşıyıcı hafif betona mineral katkı olarak kullanılan silis dumanının puzolanik etkisinden ve pomza taşında bulunan boşlukları doldurabilme özelliğinden dolayı basınç ve yarmada çekme dayanımında bir artış görülmüştür. Ayrıca karışıma % 30 oranında silis dumanı eklenince basınç ve yarmada çekme dayanımında bir düşüş görülmüştür.
2. Hafif betonda kullanılan çimento dozajının artmasıyla basınç ve yarmada çekme dayanımında bir artış görülmüştür. Ayrıca, bu artış silis dumanı oranının artmasıyla daha da belirginleşmiştir. Hafif betonun basınç dayanımındaki bu artış % 17.9–33.2 arasında olmuştur. Hafif betonun yarmada çekme dayanımında ise bu artış % 16.5–24.8 arasında olmuştur.
3. Deneysel çalışmada optimum değerleri bulabilmek için Taguchi metodu kullanılmıştır. Analiz sonucunda % 20 oranında silis dumanı ve 500 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajı kullanıldığında, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının en yüksek değer alacağı bulunmuştur.
4. Deney sonuçlarına Varyans (Anova) analizi uygulanmıştır. Varyans analizi sonucunda, basınç ve yarmada çekme dayanımı üzerinde en büyük etkiyi sırasıyla kullanılan silis dumanı ve çimento dozaj miktarının yaptığı görülmüştür. Basınç ve yarmada çekme dayanımı için yapılan deneysel çalışmada hata oldukça düşük bir seviyededir.

**5. Kaynaklar**

1. TS.2823, Bims Betondan Mamul Yapı Elemanları, Ankara, 1986.
2. Karagüler, M. E., Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988.
3. <http://www.tekcanlar.com.tr>
4. Şimşek, O., Yapı Malzemeleri, Cilt 2, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 2000.
5. Tuna, M. E., Betonarme, Cilt 1, Gazi Üniversitesi İletişim Fakültesi Matbaası, Ankara, 1993.
6. Postacıoğlu, B., Beton (Agregalar ve Beton), Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1987.
7. Neville, A. M., Properties of Concrete, Fourth and Final Edition Standarts, Pearson, Prentice Hall, 2002.
8. Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., “Otoklavlarda Kür Edilmiş Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta, 219–224, 2005.
9. Taguchi, G., System of Experimental Design, Quality Resources: New York, vol.1, 1987.
10. Rahim, A., Sharma, U.K., Murugesan, K., Sharma, A., Arora, P., “Multi-Response Optimization of Post-Fire Residual Compressive Strength of High Performance Concrete ”, Construction and Building Materials, No:38, 265-273, 2013.
11. Riahi, S., Nazari, A., Zaarei, D., Khalaj, G., Bohlooli, H., Kaykha, M. M., “Compressive Strength of Ash-Based Geopolymers at Early Ages Designed by Taguchi Method”, Materials and Design, No: 37, 443-449, 2012.
12. TS EN 12390–3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemi-Bölüm 3: Dene Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
13. Khatri, R.P. ve Sirivivathnanon V., “Effect of Different Supplementary Cementations Materials on Mechanical Properties of High Performance Concrete”, Cement Concrete Research, No: 25, 209–220, 1995.
14. Taşdemir, C., “Combined Effects of Mineral Admixtures and Curing Conditions on The Sorptivity Coefficient of Concrete”, Cement and Concrete Research, No: 33, 1637–1642, 2003.
15. Tanyıldızı, H., Coşkun, A. “Pomza ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Farklı Oranlardaki Silis Dumanının Etkisi”, 2. Ulusal Mühendislik Kongresi, Zonguldak, 479–484, 2006.
16. Phadke, M.S., Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall International USA, 1995.