

CAM LİF VE MERMER TOZU TAKVİYELİ ÇİMENTO HARÇLARININ SÜLFAT DİRENCİNİN TAGUCHİ METODU İLE ANALİZİ

ANALYSIS OF SULFATE RESISTANCE OF CEMENT MORTARS CONTAINING GLASS FIBER AND MARBLE DUST BY USING TAGUCHI METHOD

Birsu Alişer^a, Servet YILDIZ^b, Erdiñç ARICI^c, Oğuzhan KELEŞTEMUR^d*

^aFırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye, birsualiser@gmail.com

^bFırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, syildiz@firat.edu.tr

^c* Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, earici1@firat.edu.tr

^dFırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, okelestemur@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, sülfat etkisine maruz kalan cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının mekanik ve fiziksel özellikleri deneysel ve istatistiksel olarak araştırıldı. Bu amaçla, filler malzemesi ile yer değiştirecek şekilde hacimce %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında mermer tozu ve 0 kg/m³, 0.25 kg/m³ ve 0.50 kg/m³ cam lif içeren harç numuneleri hazırlandı. Sülfat etkisi altındaki harç numunelerinin basınç dayanımı ve boy değişimleri belirlendi. Deneylerin sayısını azaltmak amacıyla, çalışmada L₁₈(6¹ x 2³) Taguchi ortagonal dizilimi uygulandı. Ayrıca, değişkenlerin basınç dayanımı ve boy değişimi üzerine olan istatistiksel etkileri varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılarak belirlendi. Sonuç olarak, çimento harçlarında filler malzeme olarak atık mermer tozu kullanımı hem ekonomiklik hem de sülfat direnci bakımından olumlu kazanımlar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, Cam Lif, Harç, Taguchi Metodu, ANOVA

Abstract

In this study, effect of waste marble dust on the mechanical and physical properties of glass fiber reinforced mortars exposed to sulfate effect was investigated as experimentally and statistically. For this purpose, cement mortar specimens containing waste marble dust as substituting with filler material at levels of 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% by volume and glass fiber at levels of 0.25 kg/m³ and 0.50 kg/m³ were prepared. Compressive strength and change in length of the mortar specimens under sulfate effect were determined. In order to

reduce the numbers of experiments, an L₁₈(6¹ x 2³) Taguchi orthogonal array was adopted to the study. Furthermore, statistically effects of the factors on the compressive strength and change in length were determined by using analysis of variance (ANOVA) method. Finally, the use of waste marble dust in cement mortars as filler material provided positive gains in terms of both economical and resistance to sulfate.

Keywords: Waste Marble Dust, Glass Fiber, Taguchi Method, ANOVA

1. Giriş

Mermer atıkları ekolojik dengeyi bozmayan, hava kirliliğine neden olmayan, iklim değişikliklerini etkilemeyen, su kirliliği oluşturmeyen radyoaktif olmayan inşaat sektöründe değerlendirilebilen bir yan üründür [1].

Mermer işletmelerinde üretim ve imalat sonrası açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi, yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökelti ve diğer kırıntı mermer atıklarından bilhassa havuz çökeltisi adı verilen malzemenin beton üretiminde kumun yanında belirli oranlarda kullanılmasının araştırılması ile ekonomiye ve çevre kirliliğini önleme açısından yararlı olacağı düşünülmektedir [2].

Doğal olarak sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyumla birlikte zeminde veya yeraltı sularında çözünmüş halde bulunan sülfatlar betona zarar vermekte ve sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki "sülfat etkisi" veya "sülfat hücumu" olarak adlandırılmaktadır. Sülfat etkisiyle betonda zaman içinde dayanım kaybı, hacim genleşmesi, çatlama, yumuşama, pullanma ve

tabakalaşma gibi bozulmalar gözlenmektedir [3,4].

Dış ortamdan beton bünyesine sülfat girişi olması halinde (uygun boşluk suyu pH değeri de mevcutsa) alçıtaşı, C₃A ve/veya monosülfat ile sülfat reaksiyona girer ve etrenjit oluşturur. Belli bir konsantrasyona kadar etrenjit oluşumu yine içyapıda hasara yol açmaz. Hatta basınç dayanımında boşluk tıkama nedeniyle, artış da meydana gelebilir. Bu yüzden belli miktarın altındaki etrenjitte genişleme ve/veya dayanım arasında ilişki kurmak sağlıklı olmayabilir. Öte yandan yapılan karşılaştırma benzer boşluk yapısında (aynı s/ç oranı) örnekler kullanılarak yapılsa yüksek sülfat konsantrasyonlarında bir sonuç elde edilebilir. Sülfat girişi sürekli devam ederse, boşluk yapısına bağlı olarak etrenjit oluşumundaki doygunlukla birlikte hızlı bir genişleme meydana gelir [5].

Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur [6].

Değişkenliğin azaltılmasını deney tasarımlarında uygulayan ilk kişi Genichi Taguchi'dir. Kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir. Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur. Taguchi Metodu bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır [7].

Taguchi metodu temel olarak 3 temel aşamadan meydana gelmiştir.

1. Sistem Tasarımı: Bilimsel ve mühendislik prensipleri kullanılarak temel konfigürasyon belirlenir.
2. Parametre Tasarımı: Sistem parametrelerinin spesifik değerleri belirlenir. Parametre tasarımında ortogonal dizinler ve sinyal/gürültü (S/N) oranı olmak üzere 2 önemli araç vardır. Ürün performansında ki değişkenliği azaltarak, ürünün hem imalat hem de kullanımı ve bakımı esnasında oluşacak maliyetleri düşürecek şekilde ürün parametrelerinin en iyi değerleri belirlenir. Böylelikle ürün, imalatı ve kullanımındaki performansı yönüyle değişkenlik yaratan faktörlere-gürültü faktörleri (noise factors)- karşı duyarsız olacaktır [8].
3. Tolerans Tasarımı: Hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar değerlendirilir.[9]

Taguchi, kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N Signal/Noise) fonksiyonu olarak da ifade edilen üç farklı amaca uygun fonksiyon vardır. Bunlar;

En düşük en iyi olduğu durumda:

$$(S/N^{S/N}) = -10 \log\left(\frac{1}{nn} \sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (3)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

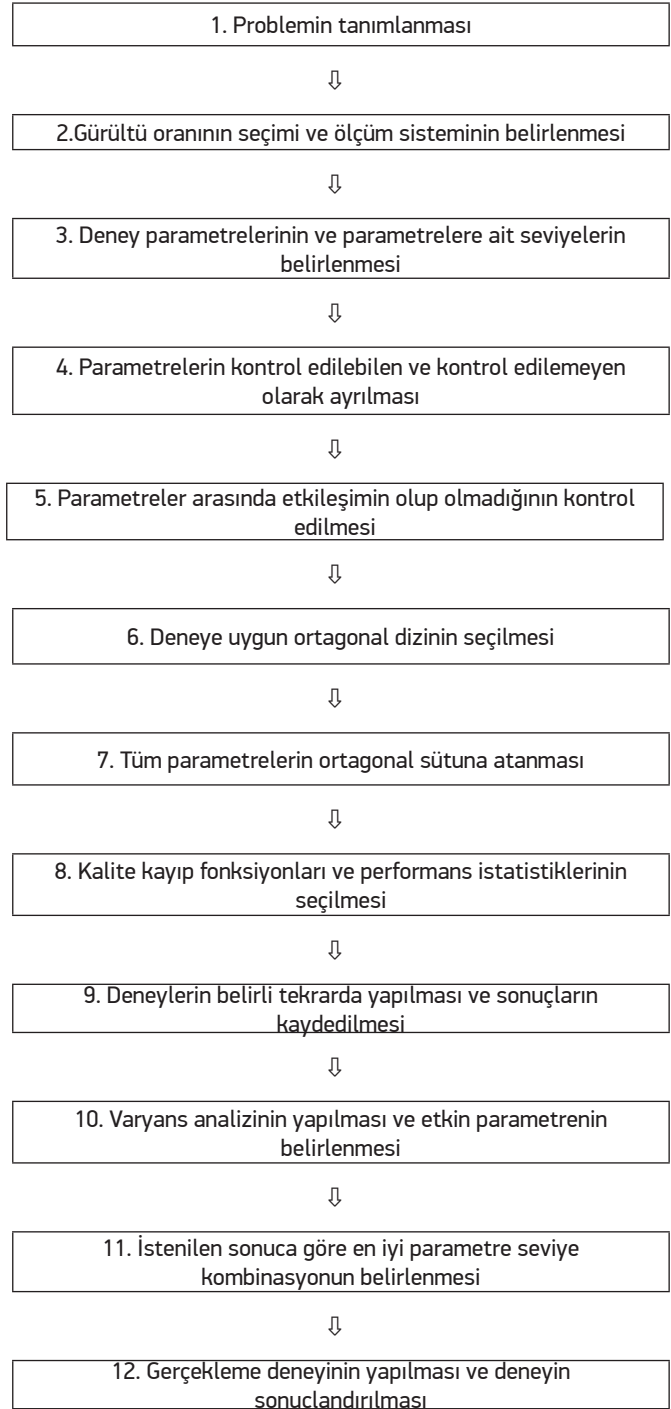
$$(S/N^{S/N}) = -10 \log\left(\frac{1}{nn} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (4)$$

Nominal en iyi olduğunda

$$(S/N^{S/N}) = 10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (5)$$

Bu metot; ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir [6,10].

Taguchi deney tasarım aşamaları aşağıda verilmiştir [11].



Bu çalışmada, sülfat etkisine maruz kalan cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının Taguchi metodu ile analizi yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Deneylerde 4 mm'lik dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın elek analiz değerleri Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1 Kumun elek analizi

Elek Çapı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	100
2	70.7
1	50
0,5	35.4
0,25	25

Deneylerde kullanılan CEM I 42,5 N tipi çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2.2 'de verilmiştir. Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. den temin edilen mermer tozu kullanılmıştır. Mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.3 'de verilmiştir. Filler malzemesi ile yer değiştirilerek kullanılan mermer tozu ve filler malzemesine ait granülometri eğrileri Şekil 2.1 'de verilmiştir. Ayrıca harcın işlenebilirliğini artırmak amacıyla 3. Nesil beton ve harç katkısı Sika ViscoCrete Hi- Tech 30 ürünü kullanılmıştır.

Tablo 2.2 Kullanılan çimentonun özellikleri

Çimento CEM I 42,5 N			
Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
S(SiO ₂)	21.12	Yoğunluk(g/cm ³)	3.13
A(Al ₂ O ₃)	5.62	Özgül yüzey(cm ² /g)	3370
F(Fe ₂ O ₃)	3.24	Priz başlama süresi(dk)	168
C(CaO)	62.94	Priz bitiş süresi(dk)	258
MgO	2.73	Basınç Dayanımı	
SO ₃	2.30	2. gün(Mpa)	25.8
Na ₂ O	--	7. gün(Mpa)	41.8
K ₂ O	--	28. gün(Mpa)	50.7
Cl	0.009		
Kızdırma kaybı	1.78		

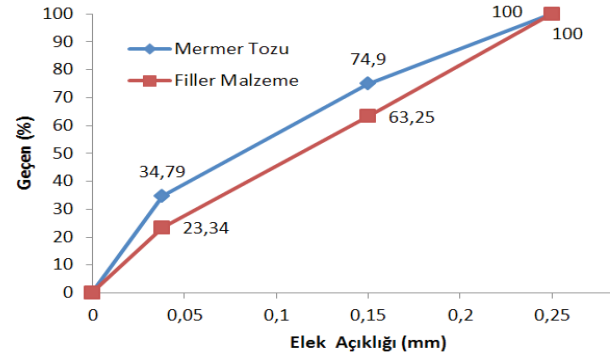
Tablo 2.3 Kullanılan mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Mohs Sertliği	3.5-4
Shore Sertliği	54
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2.69
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.11
Görünür Gözeneklilik (%)	1.11
Kimyasal Özellikler	
SiO ₂	14,25
Fe ₂ O ₃	4,90
CaCO ₃	57,4

Deneylerde kullanılan cam elyafa ait teknik özellikler Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.4. Cam Elyaf'a ait özellikleri

Lif Boyu (mm)	6
Lif Çapı (µm)	13
Özgül Ağırlık (mg/m ³)	2.68
Elastisite Modülü (MPa)	72000
Çekme Mukavemeti (MPa)	1700



Şekil 2.1 Kullanılan mermer tozu ve filler malzemenin granülometri eğrisi

2.2. Metot

Bu çalışmada; mermer tozu ve cam elyaf katkılı harçların sülfat dirençleri araştırılmıştır. Deney tasarımı aşamasında ve sonuçların istatistiksel analizinde Taguchi Yöntemi kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Deney serilerinin belirlenmesinde kullanılan üç parametrelili L18 ortogonal dizini Tablo 2.5 de verilmiştir. Mermer tozu altı seviyeli (0, 10, 20, 30, 40, 50), cam elyaf üç seviyeli (0, 0.25, 0.50), kür durumu üç seviyeli (suda, dönüşümlü sülfat ve kuruma etkisi, sülfatta) olarak deneyler yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan 40x40x160 mm lik ve 25x25x285 mm lik harç numuneleri TS EN 196-1 de belirtilen harç karışım esaslarına uygun olarak hazırlanmıştır [12]. Karışımda tüm seriler için s/ç oranı 0.50 olarak alınmıştır. Hazırlanan harç numunelerinin üretiminde, karışıma kırılmış 6 mm boyunda cam lif ilave edilmiştir. Mermer tozu filler malzeme ile hacimce %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında yer değiştirecek şekilde katılmıştır.

Kalıplardan çıkarılan harç numuneleri 28 günlük su kürü sonrası su kürü, %5 lik sodyum sülfat kullanılarak sürekli sülfat kürü ve sülfatta ıslanma kuruma çevrimli şekilde 150 gün numunelerin ASTM C1012-87' de belirtilen esaslar çerçevesinde 26 haftalık ölçümü yapılmıştır [13].

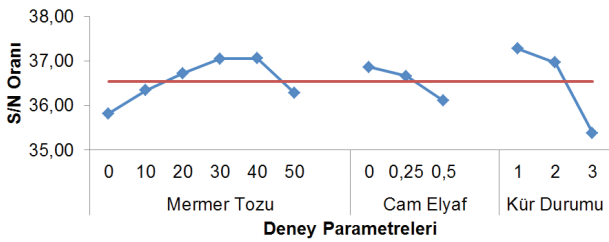
Tablo 2.5. L18 Ortogonal Dizini ve Deney sonuçları

	Mermer Tozu	Cam Elyaf	Sülfat Etkisi	Basınç Dayanımı	Boy Değişimi
1	0	0	1	71.71	0.00990
2	0	0.25	2	66.56	0.01250
3	0	0.5	3	49.56	0.01310
4	10	0	1	73.86	0.00746
5	10	0.25	2	71.14	0.01190
6	10	0.5	3	53.82	0.01220
7	20	0	2	72.33	0.00920
8	20	0.25	3	61.19	0.00890
9	20	0.5	1	72.89	0.00970
10	30	0	3	66.01	0.00840
11	30	0.25	1	76.83	0.00955
12	30	0.5	2	71.32	0.01557
13	40	0	2	76.04	0.00831
14	40	0.25	3	64.35	0.00860
15	40	0.5	1	74.03	0.00950
16	50	0	3	59.72	0.00740
17	50	0.25	1	69.77	0.00861
18	50	0.5	2	66.45	0.01404

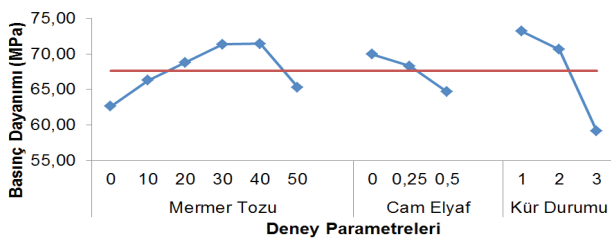
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımının analizi S/N oranının en büyük en iyi durumuna göre yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen S/N oranları ve basınç dayanım değerleri Şekil 3.1. ve Şekil 3.2. de verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere, % 40 mermer tozu ilavesine kadar basınç dayanımında artış gözlenmiştir. Cam elyafın basınç dayanımına olumlu bir etkisi olmamıştır. Betonun sülfata maruz kalmasıyla beraber dayanımda düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 3.1 Basınç Dayanımı S/N oranları

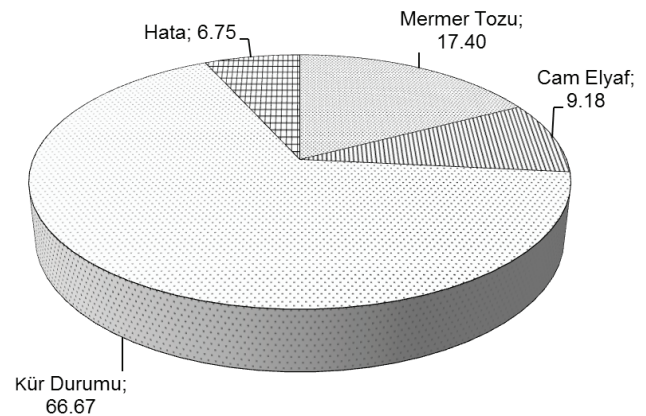


Şekil 3.2. Basınç dayanımı analiz sonuçları

Deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 3.1 de ve Şekil 3.3' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Basınç dayanımı deneyi varyans analizi sonuçları

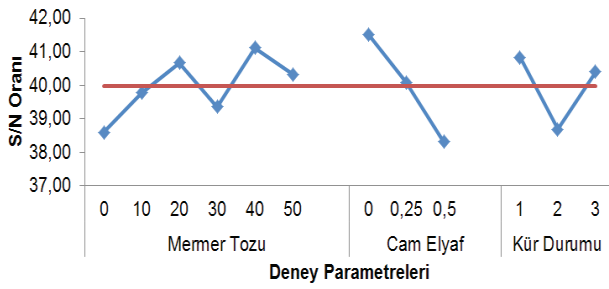
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	% Dağılımı
Mermer Tozu	5	3.555	0.711	9.763	17.40
Cam Elyaf	2	1.830	0.915	12.564	9.18
Sülfat Etkisi	2	12.371	6.186	84.948	66.67
Hata	8	0.583	0.073	0	6.75
TOPLAM		18.339			100



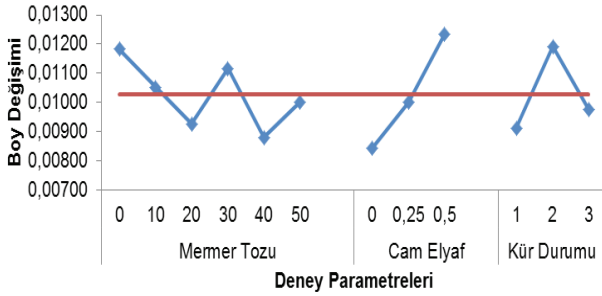
Şekil 3.3. Parametre Yüzdeleri

3.2. Boy Değişimi

Boy değişimi değerlerinin analizi S/N oranının en küçük en iyi durumuna göre yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen S/N oranları ve boy değişimi değerleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 'de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere en büyük etkiyi cam elyaf oluşturmıştır.



Şekil 3.4. Boy değişimi deneyi S/N oranları

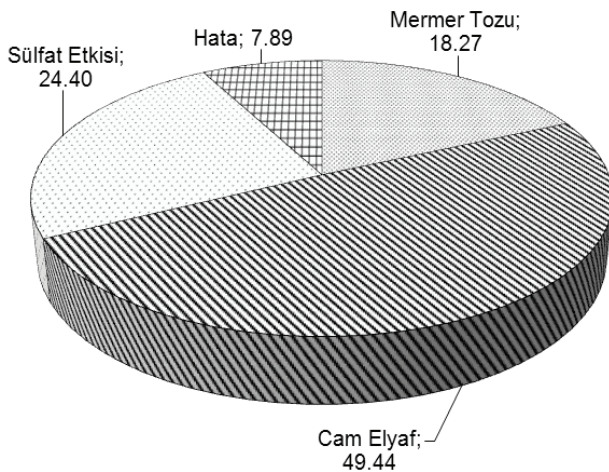


Şekil 3.5. Boy değişimi analiz sonuçları

Parametrelerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 3.2 de verilmiştir. Ayrıca bulunan değerler Şekil 3.6' da gösterilmiştir

Tablo 3.2. Boy Değişimi Varyans Analizi

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	% Dağılımı
Mermer Tozu	5	12.678	2.536	8.876	18.27
Cam Elyaf	2	31.016	15.509	54.284	49.44
Sülfat Etkisi	2	15.596	7.7986	27.297	24.40
Hata	8	2.286	0.286	0	7.89
TOPLAM		61.576			100



Şekil 3.6. Parametre Yüzdeleri

Taguchi metodu ile basınç dayanımının ve boy değişiminin optimum değerleri belirlenmiştir. Analizlerin güvenilirliğinin gösterilmesi amacıyla doğrulama deneyleri yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 3.3' de gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere Taguchi metoduyla yapılan analiz sonuçları ile doğrulama deney sonuçları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Buradan analizlerin güvenilirliğinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.3. Optimum Değer Doğrulama Sonuçları

	Optimum Değer Parametreleri			Analiz Sonucu	Doğrulama Deney Sonucu
	Mermer Tozu	Cam Lifi	Kür Durumu		
Basınç Dayanımı (MPa)	40	0	1 (Su İçinde)	80.48	78.13
Boy Değişimi	40	0	1 (Su İçinde)	0.00666	0.00597

Sonuç ve Öneriler

Cam lif ve mermer tozu takviyeli çimento harçlarının sülfat direncinin Taguchi metodu ile analizi yapılmıştır. Basınç dayanımı ve boy değişiminde parametrelerin etkilerinin Taguchi metodu ile belirlenmesi neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Mermer tozunun olumlu etkisi deneysel ve teoriksel analizlerde görülmektedir. Mermer tozunun ilavesiyle olumlu sonuçlar alınmış ve optimum değere % 40 oranında ulaşılmıştır.
2. Cam elyafın sülfat direncine karşı olumlu bir etkisi görülememiştir. Karışımındaki cam elyaf oranının artmasıyla beraber sonuçlar olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu olumsuzluğun en büyük sebebi cam elyaf ile harç arasındaki aderansın zayıf olmasından dolayıdır.
3. Deneysel parametrelerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan varyans analizi neticesinde, basınç dayanımı üzerine kür şartı %66.67, mermer tozu %17.40, cam elyaf %9.18, deneylerdeki hata payı %6.75 etkili olmuştur. Boy değişimi üzerine ise cam elyaf %49.44, kür şartı (sülfat etkisi) %24.40, mermer tozu %18.27, deneylerdeki hata payı %7,89 etkili olmuştur.
4. Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar için doğrulama deneyleri yapılarak karşılaştırıldığında benzerliğin yaklaşık olarak %95 olduğu görülmüştür. Bu sonuç analizlerin güvenilirliğinin yanında Taguchi metodunun bu tip çalışmalarda rahatlıkla kullanılabileceğini de göstermektedir.

Çalışma neticesinde; sülfat etkisine maruz kalabilecek yapılarda cam elyaf kullanımının uygun olmayacağı, fakat mermer tozunun optimum değerinde kullanımının ise sülfat direncini artırdığı kanaatine varılmıştır.

Kaynaklar

- [1]. Ünal O., Kibici Y., “Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılması araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu”, Türkiye (2001).
- [2]. Ünal O., Demir İ., Ergün A., “Mermer tozu katkılı betonların donma-çözülme özelliklerinin araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- [3]. Tikalsky P.J., Carrasquillo R.L., “The effect of fly ash on the sulfate resistance of concrete, Research Report 481-5, Center for Transportation Research”, The University of Texas at Austin, (1989).
- [4]. “American Concrete Institute, Guide to Drable Concrete, ACI 201-2R-92, ACI Committee 201, Detroit, MI”, (1992)
- [5]. Tosun K., Felekoğlu B., Baradan B., Altun İ.A., “Portland Kalkerli Çimento Bölüm II - Sülfat Dayanıklılığı”, İMO Teknik Dergi, (2009)
- [6]. Canıyılmaz E., “Kalite Gelistirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, (2001).
- [7]. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M., “Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu”, İTÜ Dergisi Mühendislik, Aralık, Cilt:3, Sayı:6, Sayfa 117-128. (2004).
- [8]. Anagün, A.S., “Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları”, (2000)
- [9]. Sarpkaya Ç., “Taguchi Metoduna Dayalı Gri İlişkiler Analizi İle Haşıl Prosesinin Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [10]. Ross, P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, Singapure, (1989).
- [11]. Gökçe B., Taşgetiren S., “Kalite İçin Deney Tasarımı”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 1, 2009 (71_83)
- [12]. Türk Standartları Enstitüsü: TSE, “TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları”, (2002).
- [13]. ASTM C-1012-95a, “Standard Test Method for Length Change of Hydraulic Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution”. American Society for Testing and Materials, Committee C-1, Subcommittee C01.29, (1995).

