



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Gri ilişkisel analiz yöntemi ile tufal katkılı harçların basınç dayanımı ve porozitesinin optimizasyonu

Optimization of compressive strength and porosity of mortars with steel scale by grey relational analysis method

Yazar(lar) (Author(s)): Erdinç ARICI¹, Oğuzhan KELEŞTEMUR²

ORCID¹: 0000-0002-6153-5805

ORCID²: 0000-0002-8498-7660

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Arıcı E., Keleştemur O., “Gri ilişkisel analiz yöntemi ile tufal katkılı harçların basınç dayanımı ve porozitesinin optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 24(4):1445-1452,(2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.559343

Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımı ve Porozitesinin Optimizasyonu

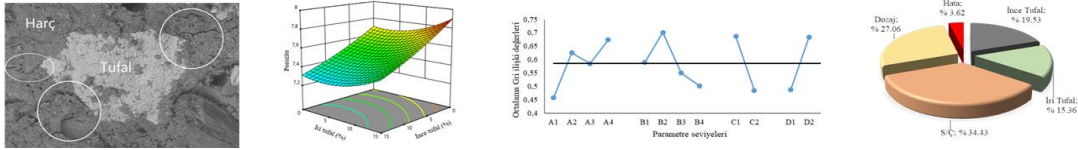
Optimization of Compressive Strength and Porosity of Mortars with Steel Scale by Grey Relational Analysis Method

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Çelik tufal katkıli harçların basınç dayanımı ve porozitesinin optimizasyonu yapıldı. / The compressive strength and porosity of mortars with steel scale optimized.
- ❖ Optimizasyonda Gri ilişkisel analiz yöntemi kullanıldı./ Gray relational analysis method was used in optimization.
- ❖ Çelik tufal ilavesi olumlu sonuç vermiştir./ The addition of steel scale gave a positive result.
- ❖ Deney parametrelerinin etkileri Varyans analizi ile belirlendi./ The effects of experimental parameters were determined by analysis of variance.
- ❖ İç yapı incelemeleri için SEM resimleri çekildi./ SEM pictures were taken for internal structure investigations.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Tufal ilaveli harçların basınç dayanımı ve porozitesinin Gri ilişkisel analiz metodu ile optimizasyonu yapıldı. Ayrıca Varyans analizi ile deney parametrelerinin sonuç üzerindeki etkileri belirlendi. / The compressive strength and porosity of the steel scale-added mortars were optimized using the Grey relational analysis method. In addition, the effects of experimental parameters on the results were determined by analysis of variance.



Şekil. Tufal katkıli harçların Gri ilişkisel analiz yöntemi ile optimizasyonu / **Figure.** Optimization of steel scale-added mortars with Grey relational analysis method

Amaç (Aim)

Çelik tufal katkıli harçların optimizasyonunun Gri ilişkisel analiz metodu ile yapılması amaçlanmıştır./ It is aimed to optimize the steel scaled mortars with Grey relational analysis method.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Deney serileri belirlenmesi için ortogonal dizin kullanıldı. Gri ilişkisel analiz metodu ile Basınç dayanımı ve porozite deneylerinden elde edilen verilerin analizleri yapılarak optimum değerler belirlendi. / Orthogonal array was used to determine the experimental series. The optimum values were determined by analyzing the data obtained from compressive strength and porosity experiments with the Grey relational analysis method.

Özgünlük (Originality)

Çelik tufal katkıli harçların Gri ilişkisel analiz ile optimizasyonu araştırıldı. / Optimization of steel scale admixture mortars with Gray relational analysis was investigated.

Bulgular (Findings)

Optimizasyon sonucunda, basınç dayanımı ve porozite değerleri için optimum ince ve iri tufal oranları sırasıyla %15 ve %5 olarak belirlendi./ As a result of the optimization, optimum fine and coarse steel scale rates for compressive strength and porosity values were determined as 15% and 5%, respectively.

Sonuç (Conclusion)

Bu tip deneysel çalışmalarda, Gri ilişkisel analiz yöntemi ile optimizasyon yapılabileceği görüldü. In this type of experimental studies, it was seen that optimization with the Grey relational analysis method can be done.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımı ve Porozitesinin Optimizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Erdinç ARICI*, Oğuzhan KELEŞTEMUR

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119

(Geliş/Received : 30.04.2019 ; Kabul/Accepted : 29.06.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 09.07.2020)

ÖZ

İnşaat sektöründe betonun kalitesinin artırılması amacıyla çimentoya veya beton karışımı içerisine farklı malzemeler katılır. Fakat bu malzemeler bazen betonun bazı özelliklerini iyileştirirken bazı özelliklerini de ters yönde etkileyebilmektedir. Bu ilave malzemelerin beton üzerine olan etkilerinin tam olarak belirlenmesi amacıyla çok sayıda deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum zaman ve malzeme kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada, demir-çelik endüstrisinin atık malzemelerinden biri olan çelik tufalın agrega olarak ilave edilmesi ile elde edilen harç numunelerindeki parametrelerin basınç dayanımı ve porozite üzerine olan etkileri incelendi. Bu parametrelerin optimizasyonu için Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kullanıldı. Deney serilerinin belirlenmesinde dört parametrelili L16 ortogonal dizininden faydalanılmıştır. Bu amaçla, farklı seviyelerde ince tufal, iri tufal, su/çimento oranı ve çimento dozajına sahip harç numuneleri hazırlanarak basınç dayanımı ve porozite değerleri elde edildi. Bu veriler Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle değerlendirildi. Yapılan analizler sonucunda, optimum seviyeler ve basınç dayanımı ile porozite arasındaki ilişki belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Gri İlişkisel Analiz (GİA), tufal, harç, basınç dayanımı, porozite.

Optimization of Compressive Strength and Porosity of Mortars with Steel Scale by Grey Relational Analysis Method

ABSTRACT

Various materials are added to the cement or concrete mixture in order to increase the quality of concrete in the construction sector. However, these materials sometimes improve some of the properties of concrete and some of its properties can be adversely affected. Numerous tests are needed to determine the effects of these additional materials on the concrete. However, this situation causes waste of time and material. In this study, the effects of the parameters on the compressive strength and porosity of the mortar samples with steel scale which is one of the waste materials of the iron and steel industry were investigated. Grey Relational Analysis (GRA) method was used to the optimization of these parameters. The four-parameter L16 orthogonal array was used to determine the experimental series. For this purpose, Mortar samples with different levels of fine scale, coarse scale, water/cement ratio and cement dosage were prepared and their compressive strength and porosity values were obtained. The data were evaluated by using Grey Relational Analysis method. As a result of the analysis, the optimum level of the parameters and the relationship between the compressive strength and porosity were determined.

Key Words: Grey Relational Analysis (GRA), steel scale, mortar, compressive strength, porosity.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada en çok kullanılan inşaat malzemesi olan beton genel olarak doğadan temin edilen malzemeler ile üretilmektedir. Bu malzemelerin temini esnasında bazen doğada çevresel olarak onarılamayacak hasarlar meydana gelmekte, hatta ekolojik dengeyi bozacak izler dahi bırakılmaktadır. Bu olumsuzluk çimento/beton harcı üretiminde kullanılan doğal malzeme oranının azaltılmasıyla minimize edilebilir.

Malzeme alanında çalışan araştırmacılar özellikle atıl vaziyetteki malzemeleri çimento/beton harcı üretiminde kullanarak hem çevreye zarar veren atıl vaziyetteki malzemeleri ekonomiye kazandırmak hem de betonun

özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamaktadırlar.

Demir cevherinin işlenmesi ve alaşımlarından oluşan çelik, dünyanın en yaygın kullanılan malzemesi olarak kabul edilir. Çelik haddeleme işlemi ile çubuk, tel ve levhalara dönüştürülür. Sıcak haddeleme işlemi sırasında çelik yüzeyinde tufal olarak adlandırılan oksit tabakası meydana gelir [1].

Demir-çelik üretimi sürecinde, yaklaşık 500 kg/ton katı atık üretilmektedir. Bu atıklardan olan çelik tufali üretilen çeliğin yaklaşık %2 si civarındadır. Çelik tufali, dökümhanelerde, soğutma ve sıcak haddeleme işlemleri sırasında demirli malzemelerin üzerinde oluşan demir oksit tabakasıdır. Tufal hem elemental olarak demir (Fe) hem de FeO, Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ gibi farklı demir oksitler içerir [2]. Tufal esas olarak demir oksitten oluşmakta ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : earici1@firat.edu.tr

demir içeriği yaklaşık %70-75'e kadar çıkmaktadır [3]. Ayrıca düşük oranlarda silisyum oksit, alüminyum oksit ve farklı bileşik ve oksitleri de içermektedir [4].

Kimyasal olarak zengin içeriğe sahip olması, atıl vaziyette olması ve düşük oranlarda geri dönüşümünün yapılması sebebiyle farklı alanlarda tufalin kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır [5-9]. Planlanan bu çalışmada demir-çelik endüstrisinin atık ürünü olan tufal agrega olarak harç numunelerine ilave edilerek Gri ilişkisel analiz metodu kullanılarak elde edilen harç numunelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Bilim ve teknoloji alanındaki modern gelişmeler, bilimsel bazı önemli teorilerin ve disiplinler arası bilimsel araştırmaların güçlü bir biçimde artmasıyla daha da hız kazanmıştır. Disiplinler arası önemli gelişmeler Sistem Teorisi, Bilgi Teorisi vb. teorilerle ilerlemeye başlamıştır. Geçtiğimiz son yirmi yıl içerisinde, eski teorilerdeki çalışmaların yavaş yavaş bırakılması ve yeni bir teori geliştirme ihtiyacıyla gri sistem teorisinde önemli gelişmeler olmuştur [10]. 1990'lü yıllarda ortaya çıkan Gri teorisinin önerisi, her alandaki Gri teorisinin kullanımına neden oldu ve bu konudaki gelişmeler hala devam etmektedir. Gri teorisinin en büyük avantajı, hem eksik bilgileri hem de belirsiz sorunları çok hassas bir şekilde ele alabilmesidir [11].

Gri sistem teorisi belirsizliğin sayısallaştırılmasında alternatif bir metottur. Bu teori temel olarak sistemler arasındaki ilişkinin analizi, model kurulması, tahmin ve karar problemlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir [12]. Gri İlişkisel Analiz, Gri Teori ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır. Gri teori ilk defa 1982 yılında Tayland'da ki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversite'si öğretim üyelerinden olan Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. Gri teori; gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır [13].

Gri sistem teorisinde (GST) renklerin koyuluğu genelde bilginin belirsizlik derecesini ifade etmektedir [14]. Gri ilişkisel analizde, siyah hiçbir bilgi içermemesini ve beyazın ise tüm bilgilere sahip olunmasını temsil eder. Gri bir sistem siyah beyaz arasında bir bilgi düzeyine sahiptir. Bu analiz iki sekans arasındaki korelasyon derecesini temsil etmek için kullanılabilir, böylece iki faktörün uzaklığı somut olarak ölçülebilir. Gri ilişki analizi, daha az veriye sahip diziler arasındaki ilişkiyi analiz etmede etkili bir yöntemdir ve istatistiksel yöntemin dezavantajlarını ortadan kaldıracak birçok faktörü analiz edebilir [15]. GST alt başlıklarından biri olan Gri ilişkisel analiz (GİA) kriterler arası karmaşık ilişkilerin bulunduğu karar problemleri için etkin bir yöntemdir. Bu özelliği sayesinde GİA'nın çok kriterli karar verme problemlerinde diğer yöntemlerle bütünleşik veya tek başına uygulamalarına literatürde sıkça rastlanmaktadır [16].

Gerçek yaşam problemlerinde oluşan bazı zorluklar istatistik analizlerinde dikkate alınmadığı için, gri ilişkisel analiz bu zorlukları da veri işleyiş sürecinde

faktörler arasındaki ilişkilere eksik bilgi altında anlık bakarak dikkate almaktadır. Çünkü basit, belirli ve net hesaplama süreci ve adımlarından oluşmaktadır. Bu süreçte, normallik, bütünlük, eş simetri ve yakınlık özelliklerinin sağlanması ile birlikte gri ilişkisel derece "T" hesaplanabilmektedir [10].

Bu çalışmada, çelik üretimi sürecinde oluşan ve atıl vaziyette olan çelik tufalin çimento harç numunelerinde agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, karışıma katılan agreganın 1 mm'ye kadar olan kısmı ile tufal farklı oranlarda hacimce yer değiştirilerek numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı ve porozite deneyleri yapılmıştır. Tufal miktarı, S/Ç oranı ve çimento dozajına bağlı olarak deney sonuçlarındaki değişimler incelenmiştir. Gri ilişkisel analiz metodu kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda optimum parametre değerleri belirlenmiş, ayrıca yapılan varyans (Anova) analizi ile parametrelerin basınç dayanımı ve porozite üzerindeki etkileri yüzdesel olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Harç karışımlarında granülometri oranları Çizelge 1'de verilen maksimum dane boyutu 4 mm olan doğal agrega kullanılmıştır. Doğal agrega, ince (0-0.25 mm) ve iri (0.25-1 mm) olarak iki gruba ayrılan çelik tufal ile % 0, 5, 10 ve 15 oranlarında yer değiştirilmiştir.

Çizelge 1. Agrega granülometrisi (Granulometri of aggregate)

Elek Çapı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	100
2	71
1	50
0,5	35
0,25	25

Bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır [17]. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çimentonun özellikleri (Properties of cement)

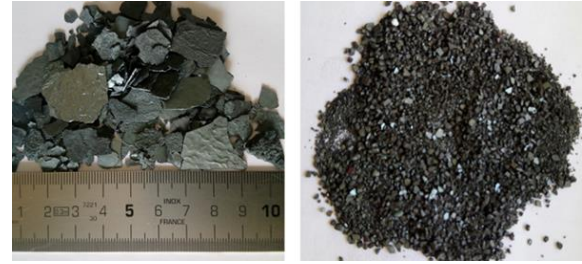
Çimento CEM I 42,5 N			
Kimyasal Özellikler	Fiziksel Özellikler		
S(SiO ₂)	21.12	Yoğunluk(g/cm ³)	3.13
A(Al ₂ O ₃)	5.62	Özgül yüzey(cm ² /g)	3370
F(Fe ₂ O ₃)	3.24	Priz başlama süresi(dk)	168
C(CaO)	62.94	Priz bitiş süresi(dk)	258
MgO	2.73	Basınç Dayanımı	
SO ₃	2.30	2. gün(Mpa)	25.8
Na ₂ O	--	7. gün(Mpa)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

Çeliğin üretim sürecinde demirin haddelenme işlemi esnasında oluşan tufal kimyasal olarak farklı elementler içermektedir. Çalışmada kullanılan tufal numunesi üzerinde yapılan EDX sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Çelik tufalinin EDX sonuçları (EDX results of steel scale)

EI	AN	Net	Unn. C (wt. %)	Norm. C (wt. %)	Atom C (wt. %)
Fe	26	4533	74.04	79.26	51.78
O	8	2082	18.22	19.51	44.48
C	6	44	1.15	1.23	3.74

Tufal şekil olarak incelendiğinde kalınlığı ortalama 1 mm olup, genişliği ise 5mm ile 20 mm. arasında değişmektedir. Bu yapısı sebebiyle harç karışımı içinde doğrudan kullanılamamıştır. Karışım içinde kullanılabilir hale getirilmek amacıyla tufal laboratuvar ortamında öğütülmüştür. Öğütülme öncesi ve sonrası tufal Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Öğütme öncesi ve sonrası çelik tufal (Steel scale before and after grinding)

Gri İlişkisel Analizin yapılabilmesi ve gerekli serilerin belirlenebilmesi amacıyla parametrelerin sayısı ve seviyelerine uygun ortogonal dizini belirlendi. Bu amaçla, ikisi dört seviyeli, ikisi iki seviyeli L16 (4²x2²) ortogonal dizini seçilmiştir. Ortogonal dizindeki parametreler ve seviyeleri seri numaralarına göre Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. L₁₆ ortogonal dizini (L₁₆ orthogonal array)

Seri No	Parametreler				0-0.25 mm İnce tufal (%)	0.25-1mm İri tufal (%)	S/Ç	Dozaj (kg)
	A	B	C	D				
S1	1	1	1	1	0	0	0.50	400
S2	1	2	1	1	0	5	0.50	400
S3	1	3	2	2	0	10	0.60	500
S4	1	4	2	2	0	15	0.60	500
S5	2	1	1	2	5	0	0.50	500
S6	2	2	1	2	5	5	0.50	500
S7	2	3	2	1	5	10	0.60	400
S8	2	4	2	1	5	15	0.60	400
S9	3	1	2	1	10	0	0.60	400
S10	3	2	2	1	10	5	0.60	400
S11	3	3	1	2	10	10	0.50	500
S12	3	4	1	2	10	15	0.50	500
S13	4	1	2	2	15	0	0.60	500
S14	4	2	2	2	15	5	0.60	500
S15	4	3	1	1	15	10	0.50	400
S16	4	4	1	1	15	15	0.50	400

Ortogonal dizindeki serilerin deney sonuçları belirlenerek Gri ilişki derecesi hesaplanır. Gri ilişki derecesinin hesaplanma basamakları aşağıda özetlenmiştir [12, 18].

1. Adım: “x₀” referans serisi ve “x_i” karar serileri Eş. 1 ve Eş. 2’de verildiği şekilde oluşturulur.

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(j), \dots, x_0(n)) \quad (1)$$

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(j), \dots, x_i(n)) \quad (2)$$

j=1,2,.....,n, i=1,2,3,.....,m, olmak üzere “x_i” karar serisi Eş. 3’de verildiği gibi matris formunda da ifade edilebilir.

$$X_i = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

2. adım: Veri setinin normalize edilmesi: Normalizasyon işleminde “x_i(j)” formundan x_i^{*}(j) formuna dönüştürülür. Bu normalizasyon işleminde üç farklı durum olabilir. Bunlar;

2.1. En büyük en iyi olma durumu;

$$x_i^*(j) = \frac{x_i(j) - \min x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad (4)$$

2.2. En küçük en iyi olma durumu;

$$x_i^*(j) = \frac{\max x_i(j) - x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad (5)$$

2.2. Nominal en iyi olma durumu;

$$x_i^*(j) = \frac{|x_i(j) - x_{ob}(j)|}{\max x_i(j) - x_{ob}(j)} \quad (6)$$

(max x_i(j) ≥ x_{ob}(j) ≥ min x_i(j))

Aynı zamanda “x₀” referans serisinin normalizasyonu Eş. 4, Eş. 5 ve Eş. 6’dan uygun olanıyla yapılır. Bu üç formülden uygun olanında “x_i(j)” yerine “x₀(j)”

yerleştirilerek “ x_0 ” in normalize edilmiş referans serisi “ x_0^* ” oluşturulur.

$$x_0^* = (x_0^*(1), x_0^*(2), \dots, x_0^*(j), \dots, x_0^*(n)) \quad (7)$$

Orijinal veri seti normalize edildikten sonra karar matrisi Eş. 3’de verildiği şekle dönüşür;

$$X_i^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

3. Adım: (j) noktasındaki, “ x_0^* ” ve “ x_i^* ” arasındaki farkın mutlak değerinin “ $\Delta_{0i}(j)$ ” hesaplanması. Bu değer Eş. 9’da verilen formülle hesaplanarak mutlak değer matrisi oluşturulur.

$$\Delta_{0i}(j) = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| = \begin{bmatrix} x_{01}(1) & x_{01}(2) & \dots & x_{01}(n) \\ x_{02}(1) & x_{02}(2) & \dots & x_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{0m}(1) & x_{0m}(2) & \dots & x_{0m}(n) \end{bmatrix} \quad (9)$$

4. Adım: Eş. 10 kullanılarak gri ilişkisel katsayısını “ $\gamma_{0i}(j)$ ” hesaplamak için gri ilişkisel denklemi uygulanır.

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(j) + \zeta \Delta_{max}} \quad (10)$$

Bu formülde;

$\Delta_{max} = \max_i \max_j \Delta_{0i}(j)$, $\Delta_{min} = \min_i \min_j \Delta_{0i}(j)$ ve $\zeta \in [0,1]$. Analizde iki sonuç değerlendirildiğinde, ζ değeri genel olarak 0.5 alınarak orta düzeyde ayırt edici etki oluşturması sağlanır.

5. Adım: İlişki derecelerinin “ Γ_{0i} ” Eş. 11’den hesaplanır.

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [W_i(j) \times (j)] \quad (11)$$

$\Gamma_{0i} \in [0,1]$, Gri ilişki derecesinin büyüklüğü referans ve karar serilerinin arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu gösterir.

Basınç dayanımı ve porozite deneyleri için TS EN 196-1 de belirtilen esaslara uygun olarak toplam 16 seri harç numunesi hazırlanmıştır [19]. Deney serileri için gerekli malzeme miktarları Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Serilerin malzeme karışım miktarları (kg/m³) (Material mix quantities of series (kg/m³))

Seri No	Çimento	Su	Agrega				Tufal	
			0-0,25 mm.	0,25-1 mm.	1-2 mm.	2-4 mm.	İnce	İri
S1	400	200	444	444	373	515	0	0
S2	400	200	444	422	373	515	0	40
S3	500	300	352	317	296	408	0	63
S4	500	300	352	299	296	408	0	95
S5	500	250	368	387	325	449	35	0
S6	500	250	368	368	325	449	35	35
S7	400	240	396	375	350	483	37	75
S8	400	240	396	354	350	483	37	112
S9	400	240	375	416	350	483	75	0
S10	400	240	375	396	350	483	75	37
S11	500	250	348	348	325	449	69	69
S12	500	250	348	329	325	449	69	104
S13	500	300	299	352	296	408	95	0
S14	500	300	299	334	296	408	95	32
S15	400	200	378	400	373	515	120	80
S16	400	200	378	378	373	515	120	120

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Her seride basınç dayanımı ve porozite deneyleri için 10 (5 basınç, 5 porozite) adet numune hazırlanmıştır. Deneyler 28 gün kirece doymun suda kür edilmiş harç numuneleri üzerinde yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak deney sonuçları

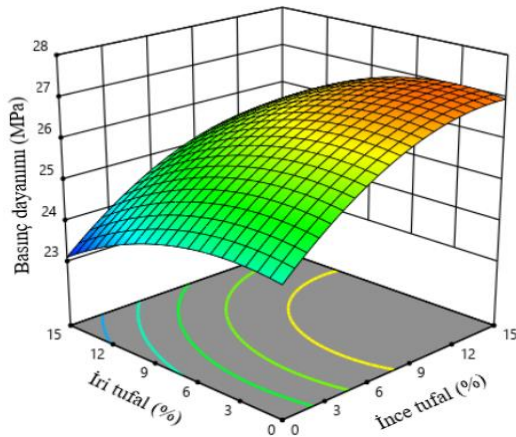
bulunmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir.

Basınç dayanımının ince ve iri tufal oranına göre değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. İnce tufal oranının artması basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken, iri tufal oranındaki artış tufal parçacıklarının kırılma olmasına bağlı olarak olumsuz olarak etkilemiştir.

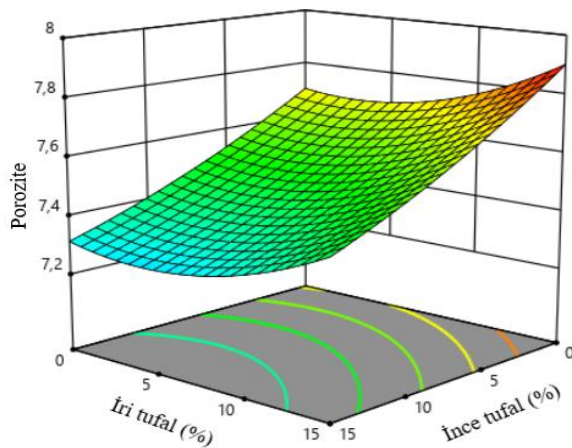
Çizelge 6. Basınç dayanımı ve porozite deney sonuçları
(Compressive strength and porosity tests results)

Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)	Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)
S1	21.70	8.36	S9	21.59	8.39
S2	22.29	8.11	S10	22.09	8.26
S3	21.11	8.44	S11	25.18	7.88
S4	20.83	8.56	S12	24.82	8.03
S5	26.24	7.88	S13	23.71	7.97
S6	27.49	7.79	S14	24.17	7.79
S7	20.51	8.87	S15	24.02	7.95
S8	19.92	9.04	S16	23.87	8.03

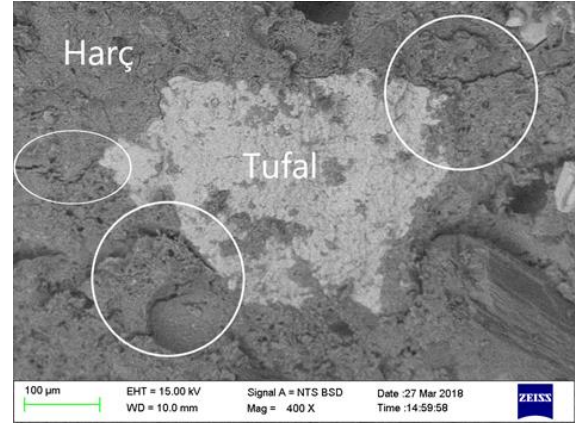
Basınç dayanımının ince ve iri tufal oranına göre değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. İnce tufal oranının artması basınç dayanımını olumlu yönde etkilerken, iri tufal oranındaki artış tufal parçacıklarının kırılğan olmasına bağlı olarak olumsuz olarak etkilemiştir.

**Şekil 2.** Basınç dayanımının tufal oranına göre değişimi
(Variation of compressive strength according to steel scale ratio)

Porozite değerinin tufal oranına bağlı olarak değişimi Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ince tufal oranındaki artış porozite değerini düşürmüştür. İri tufal yaklaşık % 5 oranına kadar porozite değerinde azalmaya sebep olurken bu değerden sonra porozite değerini artırmıştır.

**Şekil 3.** Porozite değerinin tufal oranına göre değişimi

(Variation of porosity value according to steel scale ratio)
Yapılan deneyler sonucunda, tufal ilavesinin harç numuneler üzerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. İlave edilen çelik tufal, gerilmeler altında oluşan çatlakların ilerlemesini de engellemiştir bu durum Şekil 4’de verilen SEM resminden görülmektedir.

**Şekil 4.** Tufal katkılı harç numunesinin SEM resmi
(SEM image of mortar with scale)

Çalışmada, harç numunelerinin basınç dayanımının yüksek porozitenin ise düşük olması amaçlanmıştır. Bu sebeple GİA normalizasyon işlemi aşamasında basınç dayanımı için “en büyük en iyi” durumu dikkate alınarak Eş. 4 kullanıldı. Porozite değeri için ise “en küçük en iyi” olma durumuna göre Eş. 5 kullanıldı. Bu işlemler sonucu Çizelge 7’de verilen karar (normalize) matrisi oluşturulmuştur. Örneğin, Seri 1 için normalize edilmiş değerleri hesaplırsak;

$$x_1^*(1) = \frac{21.70 - 19.92}{27.49 - 19.92} = 0.235$$

$$x_1^*(2) = \frac{9.039 - 8.355}{9.039 - 7.788} = 0.546$$

Çizelge 7. Normalize (Karar) matrisi (Normalized (Decision) matrix)

Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)	Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)
S1	0.235	0.546	S9	0.221	0.515
S2	0.313	0.746	S10	0.287	0.623
S3	0.157	0.481	S11	0.695	0.926
S4	0.120	0.386	S12	0.647	0.809
S5	0.835	0.923	S13	0.501	0.858
S6	1.000	1.000	S14	0.561	1.000
S7	0.078	0.136	S15	0.542	0.873
S8	0.000	0.000	S16	0.522	0.809

Normalize (karar) matrisinin oluşturulmasından sonra mutlak değer matrisi oluşturuldu. Bu matristeki değerleri hesaplamak için Eş. 8’den faydalanıldı. Çizelge 8’de mutlak değer matrisi verilmiştir. Bu formüle göre S1 için basınç dayanımı ve porozite değerlerini hesaplırsak;

$$\Delta_{01}(1) = |1 - 0.2351| = 0.7649$$

$$\Delta_{01}(2) = |1 - 0.5440| = 0.4560$$

Çizelge 8. Mutlak değer matrisi (Absolute value matrix)

Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)	Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)
S1	0.7649	0.4560	S9	0.7794	0.4800
S2	0.6869	0.2560	S10	0.7133	0.3760
S3	0.8428	0.5200	S11	0.3052	0.0720
S4	0.8798	0.6160	S12	0.3527	0.1920
S5	0.1651	0.0720	S13	0.4993	0.1440
S6	0.0000	0.0000	S14	0.4386	0.0000
S7	0.9221	0.8640	S15	0.4584	0.1280
S8	1.0000	1.0000	S16	0.4782	0.2240

Mutlak değer matrisinin oluşturulmasından sonra Eş. 9'dan faydalanarak bulunan değerlerle Çizelge 9'da verilen Gri ilişkisel katsayılar matrisi oluşturuldu. Gri ilişki katsayı değerlerinin deney sonuçlarını tam olarak yansıtabilmesi için “ ζ ” ağırlık faktörü değerleri Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak belirlendi. Buna göre “ ζ ” basınç dayanımı için 0.54, porozite için 0.46 olarak alındı.

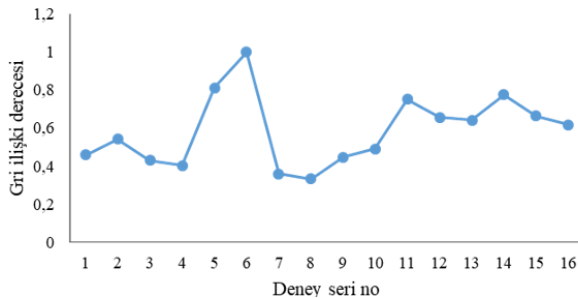
Çizelge 9. Katsayı matrisi (coefficient matrix)

Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)	Seri No	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değerleri (%)
S1	0.4138	0.5034	S9	0.4093	0.4870
S2	0.4401	0.6442	S10	0.4308	0.5499
S3	0.3905	0.4701	S11	0.6389	0.8613
S4	0.3803	0.4282	S12	0.6049	0.7062
S5	0.7658	0.8564	S13	0.5196	0.7642
S6	1.0000	1.0000	S14	0.5518	0.9994
S7	0.3693	0.3474	S15	0.5409	0.7843
S8	0.3506	0.3151	S16	0.5303	0.7062

Katsayı matrisinin oluşturulmasından sonra Eş. 10 yardımıyla Gri ilişki dereceleri hesaplanarak sıralaması yapıldı. Gri ilişki derecesi en yüksek 1 olabilir. Gri ilişki derecesi en büyük olan değer L_{16} ortogonal dizini içindeki en ideal değerdir. L_{16} ortogonal dizindeki serilere ait deney sonuçları, Gri ilişki dereceleri ve sıralamaları Çizelge 10'da toplu olarak verilmiş, ayrıca Şekil 5'de Gri ilişki dereceleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 10. Gri ilişki dereceleri ve sıralaması (Grey relational grade and rankings)

Seri No	Ortogonal dizin				Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite Değeri (%)	Gri İlişki Derecesi	Gri İlişki Derecesi Sıralaması
	A	B	C	D				
S1	1	1	1	1	21.70	8.36	0.4586	11
S2	1	2	1	1	22.29	8.11	0.5422	9
S3	1	3	2	2	21.11	8.44	0.4303	13
S4	1	4	2	2	20.83	8.56	0.4043	14
S5	2	1	1	2	26.24	7.88	0.8111	2
S6	2	2	1	2	27.49	7.79	1.0000	1
S7	2	3	2	1	20.51	8.87	0.3584	15
S8	2	4	2	1	19.92	9.04	0.3329	16
S9	3	1	2	1	21.59	8.39	0.4481	12
S10	3	2	2	1	22.09	8.26	0.4904	10
S11	3	3	1	2	25.18	7.88	0.7501	4
S12	3	4	1	2	24.82	8.03	0.6556	6
S13	4	1	2	2	23.71	7.97	0.6419	7
S14	4	2	2	2	24.17	7.79	0.7756	3
S15	4	3	1	1	24.02	7.95	0.6626	5
S16	4	4	1	1	23.87	8.03	0.6183	8



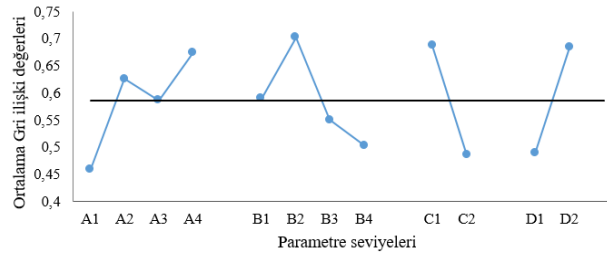
Şekil 5. Gri ilişki dereceleri (Grey relational grade)

Çizelge 10 ve Şekil 5'den görüleceği üzere, L_{16} ortagal dizisinde en yüksek ilişki derecesi S6 da elde edilmiştir. Bu basınç dayanımının en büyük ve Porozite değerinin en küçük değerinin A2B2C1D2 parametre seviyelerinde olduğunu göstermektedir. Gri ilişki dereceleri

belirlendikten sonra deney parametre seviyelerinin etkisinin belirlenebilmesi amacıyla ortalama gri ilişki dereceleri hesaplandı. Çizelge 11'de verilen değerlerden, her parametrenin maksimum olduğu seviye (“*” işaretli) belirlendi. Bu değerler optimum parametre seviyelerini verir. Her parametrenin ortalama gri ilişki derecesi Şekil 6'da gösterilmiştir. Çizelge 11 ve Şekil 6 incelendiğinde, optimum deney sonuçlarının A4B2C1D2 parametre seviyelerinde elde edildiği görülür.

Çizelge 11. Ortalama gri ilişki dereceleri (average Grey relational grade)

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Max-Min
A	0.459	0.626	0.586	0.675*	0.216
B	0.590	0.702*	0.550	0.503	0.199
C	0.687*	0.485			0.202
D	0.489	0.684*			0.195

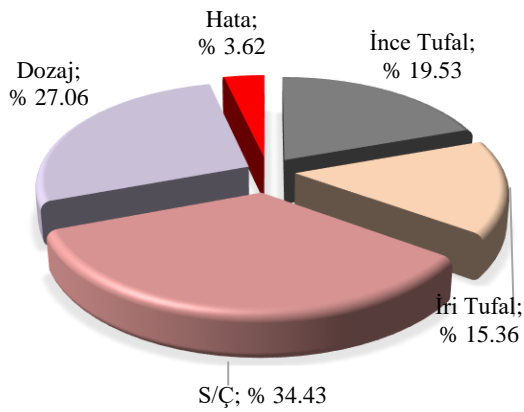


Şekil 6. Ortalama gri ilişki dereceleri (mean Grey relational grade)

Ayrıca bu dört parametrenin deney sonuçlarının basınç dayanımı ve porozite üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 12’de verilen Varyans (Anova) analizi yapıldı. Her iki deney sonucu için ortak bir değer elde edilmesi amacıyla Varyans analizi yapılırken Gri İlişki Dereceleri esas alındı. Analiz sonuçlarının yüzde dağılımları Şekil 7’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 12. Varyans (Anova) analiz sonuçları (The results of analyses of variance (ANOVA))

	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F Değeri	% Dağılımı
İnce (0-0,25 mm) Tufal (%)	3	22.926	7.642	28.007	19.53
İri (0,25-1mm) Tufal (%)	3	18.198	6.066	22.232	15.36
S/Ç	1	39.237	39.237	143.802	34.43
Dozaj (kg)	1	30.903	30.903	113.259	27.06
Hata	7	1.910	0.273		3.62
TOPLAM		113.174			100



Şekil 7. Parametrelerin yüzde dağılımları (percentage distributions of parameters)

Analiz sonucunun değerlendirilmesi amacıyla A4B2C1D2 parametrelerin seviyelerine göre numuneler hazırlanarak deneyler yapıldı. Deneyler sonuçları tufal katkısız numune (S1) ile kıyaslandığında, basınç dayanımı 21.70 MPa’dan 28.53 MPa’ya yükselirken, porozite değeri ise %8.36’dan % 7.46’ya düştüğü belirlenmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Tufal ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımı ve porozite değeri arasındaki ilişkinin Gri ilişkisel analiz ile değerlendirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İnce Tufal ilavesi basınç dayanımını artırmış aynı zamanda porozite değerini de düşürmüştür. Elde edilen veriler atıl vaziyetteki tufalin harç/beton üretiminde kullanılabilirliğini de göstermektedir. Böylece çelik tufalin farklı bir geri dönüşüm yöntemi ile ekonomiye kazandırılmasının yanı sıra harçların özellikleri üzerine olumlu katkılar sağlayabileceği de belirlenmiştir.

2. Deney parametrelerine bakıldığında ince ve iri tufalin 4 seviyeli (0, 5, 10, 15), S/Ç oranı ve dozajın ikişer seviyeli (S/Ç=0.50, 0.60, D=400, 500 kg) olduğu görülür. Buna göre toplam deney sayısı 64 olması gerekmektedir. Fakat L16 ortogonal dizini ($4^2 \times 2^2$) seçilerek deneyler için 16 seri hazırlanmıştır. Bu hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlamıştır.

3. Gri ilişkisel derecesine göre ortogonal dizinde optimum değer Seri 6’da (% 5 İnce tufal, % 5 İri tufal, 0.50 S/Ç ve 500 dozlu) oluşmuştur. Bu seride basınç dayanımı 27.49 MPa, porozite değeri % 7.79 ile ortogonal dizinde en iyi değerler olduğu görülmüştür.

4. Gri ilişki derecesine göre belirlenen optimum değer sadece L16 ortogonal dizini için geçerlidir. Gerçek optimum değer belirlenmesinde ortalama gri ilişki derecelerinden faydalanılmıştır. Bu değerlere göre optimum değer A4B2C1D2 (% 15 ince tufal, % 5 iri tufal, 0.50 S/Ç ve 500 doz) parametre seviyelerinde olmalıdır. Bu seviyeleri için deneyler yapılmış ve basınç dayanımı 28.53 MPa, porozite değeri %7.46 olarak bulunmuştur.

5. Varyans analizine göre deney sonuçları üzerinde parametrelerin etkileri incelendiğinde sırasıyla S/Ç oranı (%34.43), çimento dozajı (%27.06), ince tufal (%19.53) ve iri tufal (%15.36) olduğu görülür.

Harç/beton karışımları içine katılan ilave malzemeler dayanım ve dayanıklılık özelliklerini farklı oranlarda etkilemektedir. Gri ilişki analizi ile yapılan optimizasyon sayesinde bu özelliklerin tamamında olumlu etkiler sağlayabilecek parametre değerleri belirlenebilir. Ayrıca ortogonal dizin sayesinde yapılacak deney seri sayısı azaltılarak zamandan ve malzemenin tasarruf sağlanır. Bu açıdan bakıldığında Gri ilişkisel analiz deneysel çalışmalarda kullanılmasının faydalı olmasının yanında gerekli olduğu kanaatindeyiz.

Gri ilişkisel analiz gibi istatistiksel yöntemlerde, optimum değerler parametre seviyelerinde elde edilir. Fakat,

optimum değerler bu parametre seviyelerinin ara değerlerinde de olabilir. Bu değerlere ulaşmak için genetik algoritma uygulanabilir. Bu amaçla, Gri ilişkisel analizin genetik algoritma ile birlikte kullanılmasını gelecek araştırmalar için önerebiliriz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Erdinç ARICI: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Oğuzhan KELEŞTEMUR: Deneyleri yapmış ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sen, R., Maan A., Goyal U., “Birdhaniya A. and Pandel U., In Crucible Reduction of Mill Scale by Lean Grade Coal: Study of Time, Temperature and Arrangement for Optimum Reduction Conditions”, *Materials Today: Proceedings*, 5: 7256–7263, (2018).
- [2] Singhal A., Bhunia D. and Pandel B., “Effect of Sand Replacement by Mill Scale on the Properties of Concrete”, *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 2: 60-67, (2015).
- [3] Ma N., Houser J. B. and Wood L. A., “Production of Cleaner Mill Scale by Dynamic Separation of the Mill Scale from the Fast-Moving Fume Water at a Hot Rolling Mill”, *Journal of Cleaner Production*, 176: 889-894, (2018).
- [4] Montedo O.R.K., Alves I.T., Faller C.A., Bertan F.M., Piva D.H. and Piva R.H., “Evaluation of Electrical Properties of Glass-Ceramics Obtained from Mill Scale”, *Materials Research Bulletin*, 72: 90–97, (2015).
- [5] Shahid M. K., Phearom S. and Choi Y. G., “Synthesis of Magnetite from Raw Mill Scale and its Application for Arsenate Adsorption from Contaminated Water”, *Chemosphere*, 203: 90-95, (2018).
- [6] Varvara D. A. I., Acı C., Mârza C. M. and Boca I. M. S., Tintelecan M., “Assessment of Recycling Potential of the Oily Mill Scale in the Steelmaking Industry”, *Procedia Manufacturing*, 22: 228-232, (2018).
- [7] Delil A. D., Yıldırım D. ve Köleli N., “Çelikhane Cürufundan ve Tufalından Bitki Besin Elementlerinin Geri Kazanımı ve Bu Elementlerin Bitki Büyümesine Etkisi”, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5: 01-07, (2017).
- [8] Ming J., Shi J., Sun W., “Effect of Mill Scale on the Long-Term Corrosion Resistance of a Low-Alloy Reinforcing Steel in Concrete Subjected to Chloride Solution”, *Construction and Building Materials*, 163: 508-517, (2018).
- [9] Rameswaram P.M., Jothilingam M., MohanaRam M., “Potentiality of Steel Mill Scale as Raw Material for Concrete as Fine Aggregate”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5: 3907-3909, (2018).
- [10] Baş, M. ve Çakmak, Z., “Gri İlişkisel Analiz ve Lojistik Regresyon Analizi ile İşletmelerde Finansal Başarısızlığın Belirlenmesi ve Bir Uygulama”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(3): 63-82, (2012).
- [11] Chang C. L., Tsai C. H. and Chen L., “Applying Grey Relational Analysis to the Decathlon Evaluation Model, International Journal of The Computer”, *The Internet and Management*, 11(3): 54-62, (2003).
- [12] Elitaş C., Eleren A., Yıldız F. ve Doğan M., “Gri İlişkisel Analiz ile Sigorta Şirketlerinin Performanslarının Belirlenmesi”, *16. Finans Sempozyumu, Erzurum-Türkiye*, 521-530, 10-13 Ekim, (2012).
- [13] Yılmaz E. ve Güngör F., “Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Farklı Sertliklerde Optimum Takım Tutucusunun Belirlenmesi”, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir-Türkiye*, 1-9, 11-12 Kasım, (2010).
- [14] Çakmak Z., Baş M. ve Yıldırım E., “Gri İlişkisel Analiz ve Uyum Analizi ile Bir İşletmede Karşılaşılan Üretim Hatalarının İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(1): 123-142, (2012).
- [15] Sreenivasulu R. And Rao S., “Application of Gray Relational Analysis for Surface Roughness and Roundness Error in Drilling of Al 6061 Alloy”, *International Journal of Lean Thinking*, 3(2): 67-78, (2012).
- [16] Aydoğan E. K. ve Özmen M., “Stokastik Çok Kriterli Karar Vermede İki Yeni Yöntem: Smaa- Gri İlişkisel Analiz ve Smaa-Dematel-Gri İlişkisel Analiz”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(4): 627-640, (2015).
- [17] TSE, “TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye*, (2012).
- [18] Julong D., “Introduction to Grey System Theory”, *The Journal of Grey System*, 1: 1-24, (1989).
- [19] TSE, “TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları”, *Türk Standartları Enstitüsü: Türkiye*, (2002).