

Taguchi Metodu ile Endüstriyel Çelik Yapıların Tasarım Kriterlerinin Araştırılması

Sadrettin Sancioğlu ^{1*}, Esra Uray ²

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye 42020, sadrettin.sancioğlu@karatay.edu.tr
² KTO Üniversitesi, Konya, Türkiye 42020, esra.uray@karatay.edu.tr

İbrahim Hakkı Erkan ³

³ Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye 42250, hakkierkan@gmail.com

Öz

Yaygın bir şekilde kullanılan çelik yapıların tasarımında 3E (emniyet – ekonomik – estetik) kuralı önemlidir. Bu kuralı sağlayan tasarımları elde etmek için istatistiksel metotlar kullanılabilir. Bu çalışmada beş farklı tasarım parametresinin farklı değerlerini dikkate alan çelik yapıların optimum ağırlığı için istatistik bir metot olan Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Taguchi tarafından önerilen L₁₆ ortogonal diziye göre farklı tasarım parametresi değerlerine sahip 16 rijit çok açıklı çelik yapı SAP 2000 programında 3D olarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Endüstriyel çelik yapı tasarımları, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar’a (ÇYTHYDE – 2018)” göre yapıldığı için tasarımların stabilite koşulları sağlanmıştır. 16 tasarımın sonuçlarından toplam çelik yapı ağırlıkları dikkate alınmış ve bu değer için Taguchi yönteminde performans kriteri olarak adlandırılan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları hesaplanmıştır. 16 tasarımın sonuçlarından toplam çelik yapı ağırlıkları dikkate alınmış ve ağırlıklar için Taguchi yönteminde performans kriteri olarak adlandırılan Sinyal/Gürültü (S/N) oran değerleri hesaplanmıştır. Tasarım parametrelerinin minimum yapı ağırlığına etki oranlarını belirlemek için varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca, dört seviyeli beş parametrenin tüm kombinasyonları arasından optimum (minimum) yapı ağırlığını tahmin eden parametre seviyeleri optimizasyon analizi ile elde edilmiştir. Tahmin edilen parametre seviyeleri için, yapı ağırlığı SAP2000 analizinden elde edilmiştir. Doğrulama analizi için, tahmini yapı ağırlığı ve analiz yapı ağırlığı kullanılarak rölatif hata hesaplanmıştır. Elde edilen makul rölatif değeri Taguchi metodunun tasarım kriterlerinin araştırılmasında güvenli ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Çelik Yapıların Tasarımı; Taguchi Metodu; Tasarım Kriteri

Investigation of Design Factors of Industrial Steel Structures with Taguchi Method

Abstract

3E (safety - economic - aesthetic) rule is important in the design of commonly used steel structures. To obtain designs which satisfy this rule, statistical methods can be employed. In this study, the optimum weight of steel structures considering divergent values of five design parameters has been determined by using Taguchi method which is a statistical method.

According to the L_{16} orthogonal array proposed by Taguchi, 16 rigid multi-span steel structures which have different values of design parameter, have been modelled as 3D and analyzed in SAP 2000 program. As the designs of industrial steel structure have been conducted according to the “Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures 2018 (ÇYTHYDE- 2018)”, the stability conditions of the designs have been satisfied. Total steel structure weights from results of 16 designs have been taken into consideration and values of Signal / Noise (S / N) ratio, which is called as performance criteria in Taguchi method, have been calculated for weights. Variance analysis has been performed to determine the effect rate of the design parameters on the minimum structure weight. Moreover, parameter levels estimating the optimum (minimum) structure weight among all combinations of five parameters with four levels have been obtained by optimization analysis. For the estimated parameter levels, the construct weight has been achieved from the SAP2000 analysis. For the verification analysis, the relative error has been determined by using the estimated construct weight and the analysis construct weight. The obtained value of relative error shows that the Taguchi method can be used safely and effectively in the investigation of design criteria.

Keywords: Design of Steel Structure; Taguchi Method, Design Criteria

Giriş

Çelik yapılar, süneklik düzeyinin yüksek olması, enerji emilim kapasitesinin fazla olması, yüksek dayanıma sahip olması, kolay onarım gibi avantajlı özelliklerinden dolayı; yüksek yapılarda, köprülerde ve endüstri yapılarında yapı türü olarak tercih edilmektedir. Ancak çelik yapıların maliyeti, diğer yapı türlerinden daha fazla olmasından dolayı yapının tasarım aşamasında güvenli optimum kesitler seçilmesi önem kazanmaktadır. Yapının optimum ağırlığına etkileyen makas açıklığı, çerçeve aralığı, çatı eğimi, kolon yüksekliği ve gergi aralığı gibi tasarım faktörleri göz önüne alınarak Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslara (ÇYTHYDE) uygun tasarımlar yapılmalıdır.

Endüstriyel çelik yapı tasarımında tasarımı etkileyen birçok parametre ve yük koşulları bulunmaktadır. Tüm bu durumları dikkate alarak yapılan tasarımların zaman alması ve ekonomiklik garanti etmemesi sebebiyle, günümüzde bu tip çok bilinmeyenli karmaşık problemlerin çözülmesinde farklı yöntemler ön plana çıkmıştır. Bu yöntemlerden biri de Genichi Taguchi (1990) tarafından önerilen istatistik tabanlı Taguchi metodudur. Bu metot parametrelerin tasarıma etkisini daha az deneme yapılarak elde edilmesini ve tüm tasarım parametrelerinin farklı değerlerinden oluşan kombinasyonlar arasında en ekonomik tasarımın elde edilmesini olanak vermektedir. Ayrıca, bu metot deney tasarımında ve kalite yönetim süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde, inşaat mühendisliği tasarım kriterlerinin araştırılmasında deneysel birçok çalışma bulunmaktadır (Hınıslioğlu ve Bayrak, 2007). Türkmen ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmada mineral katkılarla elde edilen betonun fiziksel özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Taguchi metodunda en büyük veya en küçük sonuçların elde edilebilmesi sebebiyle optimizasyon yöntemi olarak da kullanılmaktadır. Tan ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada çimento ile farklı oranlara sahip farklı malzemelerin karıştırılmasının optimizasyon çalışması yapılmıştır. Metot geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan tasarım problemlerinden biri olan dayanma duvarlarının tasarım kriterlerinin analitik olarak araştırılmasında kullanılmıştır (Uray, 2015 ve Uray ve diğ., 2018).

Bu çalışmada tasarım parametreleri; makas açıklığı (15m, 17m, 19m, 21m), çerçeve aralığı (5m, 6m, 7m, 8m), kolon yüksekliği (5m, 6m, 7m, 8m), çatı eğimi (5°, 10°, 15°, 20°), gergi çubuğu sayısı (0, 1, 2, 3) olan çelik endüstri yapısının, m² başına düşen optimum yapı ağırlığı Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca istatistik analizlerle tasarım parametrelerinin minimum yapı ağırlığına etkisi araştırılmıştır.

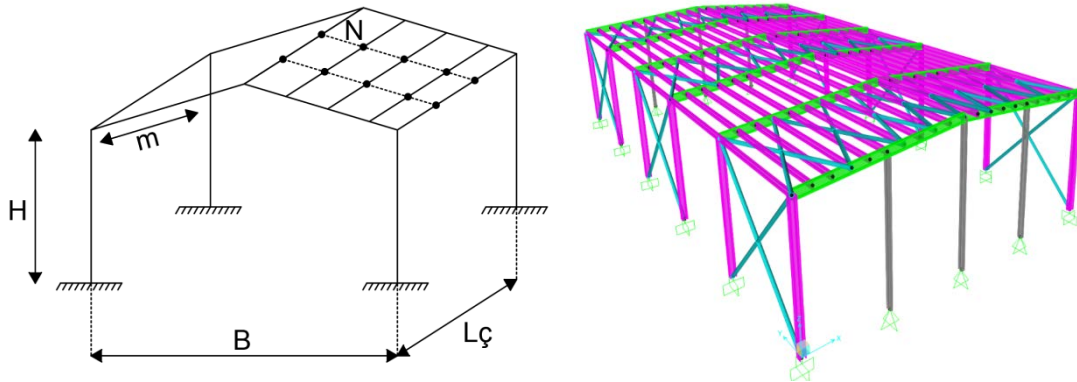
Taguchi Metodu

Kolon yüksekliği, makas açıklığı, çerçeve arası mesafe, çatı eğimi ve gergi çubuğu sayısı tasarım parametrelerinin endüstriyel çelik yapı ağırlığına etkisinin araştırılmasında Taguchi metodu kullanılmıştır. Parametrelerin sonuç üzerine etkisini güvenilir bir şekilde kısa zamanda belirleyen Taguchi metodu güçlü ve kolay uygulanabilen istatistiksel bir yöntemdir. Tasarım kriterlerinin araştırılmasında, her biri dört seviyeli beş parametrenin yapı ağırlığına etkisini belirlemek için 4⁵=1024 kombinasyona ait tasarım yapılmalıdır. Bu metot ile, parametrelerin sonuca etkisi Taguchi tarafından önerilen L₁₆ ortogonal dizi kullanılarak 1024 yerine 16 tasarım ile elde edilebilmektedir. Bu çalışmada dört seviyeli beş parametre için kullanılan L₁₆ ortogonal dizi Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1 L₁₆ Ortogonal Dizi.

Tasarım No	Parametreler ve seviyeleri					Tasarım No	Parametreler ve seviyeleri				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
1	1	1	1	1	1	9	3	1	3	4	2
2	1	2	2	2	2	10	3	2	4	3	1
3	1	3	3	3	3	11	3	3	1	2	4
4	1	4	4	4	4	12	3	4	2	1	3
5	2	1	2	3	4	13	4	1	4	2	3
6	2	2	1	4	3	14	4	2	3	1	4
7	2	3	4	1	2	15	4	3	2	4	1
8	2	4	3	2	1	16	4	4	1	3	2

Endüstriyel çelik yapının Taguchi analizlerinde belirlenen tasarım parametrelerinin 3D görselleri Şekil 1’ de ve parametrelerin seviyeleri ile birlikte açıklamaları Tablo 2’ de verilmiştir. Tasarım parametrelerinin seviyelerinin belirlenmesinde Sancioğlu ve İlgün (2018) tarafından yapılan hangar tipi çelik endüstri yapılarında optimum çerçevenin belirlenmesi isimli çalışmadan faydalanılmıştır.



Şekil 1 Tasarımda kullanılan endüstriyel çelik yapı görseli.

Tablo 2 Tasarım Parametreleri ve Seviyeleri.

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
H: Kolon Yüksekliği(m)	5	6	7	8
B: Makas açıklığı (m)	15	17	19	21
L _ç : Çerçeve arası mesafe (m)	5	6	7	8
m: Çatı eğimi (°)	5	10	15	20
N: Gergi Çubuğu sayısı	0	1	2	3

Taguchi metodunda, tasarım parametrelerinin sonuca etkisi Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ile belirlenmektedir. Parametrenin varyansını azaltmak amacıyla Taguchi tarafından tanımlanan S/N oranı deney tasarımında kontrol kriteri olarak kullanılmaktadır. S/N oranı ulaşılmak istenilen hedefe göre en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi olmak üzere üç duruma sahiptir ve durumlara ait matematiksel ifadeler sırasıyla Eşitlik 1, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 ile verilmiştir.

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

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

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

Burada Y_i , sonuç değer, n , tekrar sayısı, \bar{Y} , dizinin aritmetik ortalaması ve σ , standart sapma olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada minimum yapı ağırlığının elde edilmesi amacıyla S/N analizleri “en küçük-en iyi” durumuna göre yapılmıştır.

Numerik ve İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada, Taguchi metoduna göre yapılan istatistik analizler Statistica istatistik yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tablo 1’ de verilen L_{16} ortogonal tablosu ve Tablo 2’ de verilen parametre seviyeleri kullanılarak revize edilmiş L_{16} tasarım tablosu Tablo 3’ te verilmiştir.

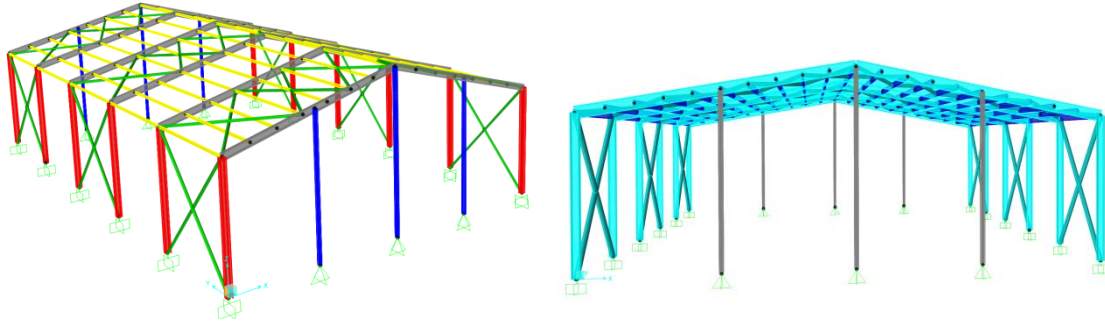
Tablo 3’ te verilen 16 farklı tasarımlar sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir analiz programı olan SAP2000 yazılımında üç boyutlu çelik yapı olarak modellenip analiz edilmiştir (Şekil 2). Çelik yapıyı oluşturan kolon, kiriş, aşık ve çapraz elemanların malzeme sınıfı S275R olarak alınmıştır. Kaplama yükü 0.15 kN/m² ve sıcaklık etkisi -15°C ile +15°C olarak alınmıştır.

ÇYTHYDE’ nin kar yükü hesabında kullanılması önerilen “Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1. 3: Genel Etkiler – Kar Yükleri (TS EN 1991 – 1 – 3)” standardına göre Konya ili için hesaplanmıştır. Yapı yerinin rakımı 1000 m < 1500 m durumu ve yük bölgesi II için karakteristik kar yükü s_k , 1.16 kN/m² olarak belirlenmiştir. Çatı yüzeyindeki kar ağırlığı hesabında, topografik bölgenin normal olduğu kabulü ile maruz kalma katsayısı, C_e , 1 ve çatı altındaki ısı kaybının çatı yüzeyine herhangi bir etki oluşturmadığı kabulü ile ısı katsayısı, C_t ,

1 olarak alınmıştır. Tek eğimli çatı için çatı eğiminin $0^\circ \leq m \leq 30^\circ$ olması sebebiyle kar yükü şekil katsayısı, μ , 0.8 olarak alınmıştır.

Tablo 3 Revize Edilmiş Tasarım Tablosu.

Tasarım No	H(m)	B(m)	Lç(m)	m (°)	N
1	5	15	5	5	0
2	5	17	6	10	1
3	5	19	7	15	2
4	5	21	8	20	3
5	6	15	6	15	3
6	6	17	5	20	2
7	6	19	8	5	1
8	6	21	7	10	0
9	7	15	7	20	1
10	7	17	8	15	0
11	7	19	5	10	3
12	7	21	6	5	2
13	8	15	8	10	2
14	8	17	7	5	3
15	8	19	6	20	0
16	8	21	5	15	1



Şekil 2 SAP2000 3D model ekran görüntüleri.

ÇYTHYDE' nin rüzgâr yükü hesabında kullanılması önerilen “Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1. 4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri (TS EN 1991 – 1 – 4)” standardına göre Konya ili için hesaplanmıştır. Esas rüzgâr hızı V_b , 0.28 m/sn, doğrultu katsayısı C_{dir} , 1.0, mevsim katsayısı C_{season} , 1.0, alınarak arazi kategorisi II’de yer seviyesinden 10 metre yükseklikte yılın herhangi bir bölümünün ve rüzgâr yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan esas rüzgâr hızı, V_b , 36 m/sn olarak hesaplanmıştır. Buna göre 0° ve 90° için hesaplanan rüzgâr yükleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Yapının deprem yük kabulü “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasına” enlemi, 37.871509° , boylamı 32.498849° , deprem yer hareketi düzeyi, DD-2 ve yerel zemin sınıfı, ZC, olarak girilerek tasarım spektral ivme katsayıları SDS , 0.396 ve $SD1$, 0.109 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar SAP2000 bilgisayar programında “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – 2018 (TBDY – 2018)” seçilerek analiz edilmiştir.

Profil zati ağırlığı, kaplama ağırlığı, sıcaklık etkisi, kar, rüzgâr ve deprem yükleme durumlarını kapsayan ÇYTHYDE’ de belirtilen kombinasyonlar göz önüne alınarak, yapı 48 farklı kombinasyona maruz bırakılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tasarımların stabilite

kontrolünde AISC 360-16 tasarım kodu göz önünde bulundurularak en gayri müsait yük kombinasyonu için yapı ağırlığı elde edilmiştir. Analiz sonuçları yapı elemanları kesitleri ile birlikte Tablo 4' te verilmiştir.

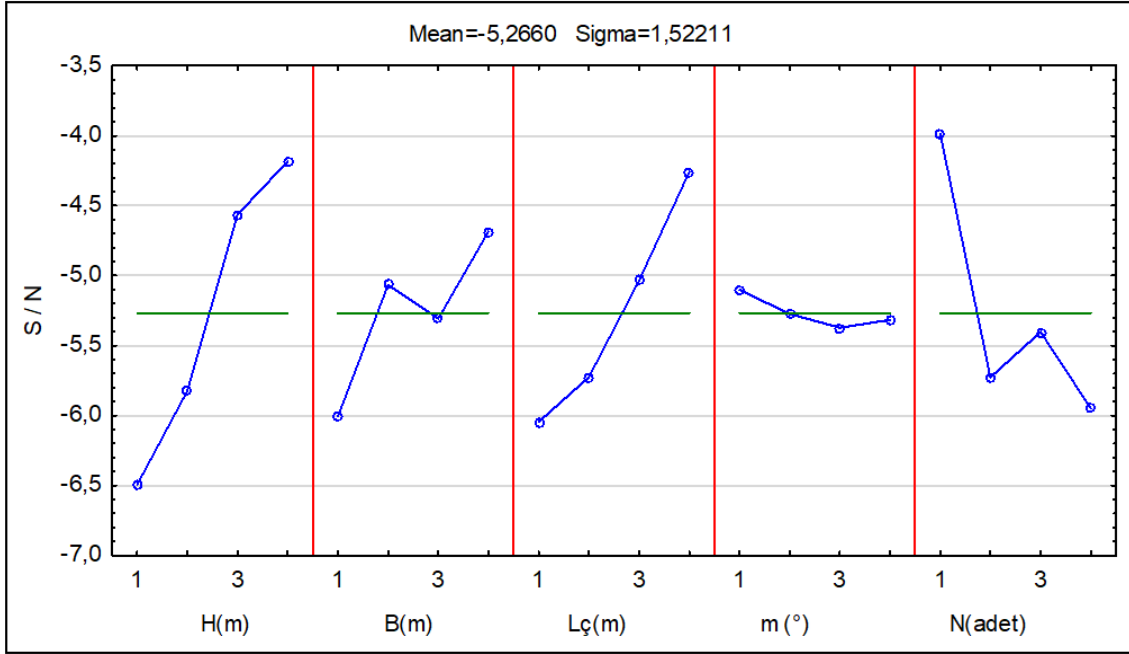
Tablo 4 Rüzgâr Yükleri.

$c_{pi} = +0,2$	Rüzgâr yönü 0° için Düşey Duvarlara Etkiyen Rüzgâr Yükleri				
Bölge	A	B	C	D	E
$w(z)=c_{pnet} * q_p(z)$	-1.78	-1.27	-0.89	0.70	-0.76
$c_{pi} = +0,2$	Rüzgâr yönü 0° için Çatıya Etkiyen Rüzgâr Yükleri				
Bölge	F	G	H	I	J
$w(z)=c_{pnet} * q_p(z)$	-1.40	-1.27	-0.63	-0.76	-1,52
$c_{pi} = +0,2$	Rüzgâr yönü 90° için Düşey Duvarlara Etkiyen Rüzgâr Yükleri				
Bölge	A	B	C	D	E
$w(z)=c_{pnet} * q_p(z)$	-1.78	-1.27	-0.89	-0.63	-1,63
$c_{pi} = +0,2$	Rüzgâr yönü 90° için Çatıya Etkiyen Rüzgâr Yükleri				
Bölge	F	G	H	I	J
$w(z)=c_{pnet} * q_p(z)$	-1.90	-1.90	-1.02	-0.89	-

Seçilen çerçeve aralığı için, her bir çerçeve arasındaki mesafenin eşit mesafede alınması sebebiyle her tasarımda farklı bina uzunlukları elde edilmiştir. Tüm tasarımlarının aynı standartta olması gerekliliği sebebiyle istatistik analizlerde m^2 ye düşen yapı ağırlığı (kN) alınmıştır ve tasarımlarda stabilite koşullarını sağlayan kolon, kiriş, aşıklar ve çapraz kesitleri Tablo 5' te verilmiştir. Yapı ağırlığı kullanılarak elde edilen S/N oranları Tablo 4' te verilmiştir. Şekil 3' te, yapı ağırlığına göre tasarım parametrelerinin seviyeleri ile ortalama S/N oranları arasındaki değişim verilmiştir.

Tablo 4 SAP2000 Analiz Sonuçları ve S/N Oranları.

No	Makas	Kolon	Aşık	Çapraz	$W_{yapı}$ (kN)	Yapı alanı (m^2)	Birim alan ağırlık (kN/m^2)	S/N
1	IPE330	HEA220	UPN140	139.7*4	176	15x25	0.469	6.570
2	IPE330	HEA260	UPN140	139.7*4	222	17x30	0.435	7.224
3	IPE360	HEA300	UPN140	193.7*4.5	313	19x35	0.471	6.546
4	IPE400	HEA320	UPN140	219.1*5	439	21x40	0.523	5.636
5	IPE300	HEA240	UPN100	139.7*4	183	15x30	0.407	7.815
6	IPE300	HEA260	UPN100	139.7*4	199	17x25	0.468	6.591
7	IPE450	HEA340	UPN180	219.1*5	420	19x40	0.553	5.151
8	IPE450	HEA300	UPN220	219.1*5	478	21x35	0.650	3.737
9	IPE300	HEA300	UPN160	168.3*4	276	15x35	0.526	5.585
10	IPE360	HEA300	UPN240	219.1*5	529	17x40	0.778	2.181
11	IPE330	HEA300	UPN100	114.3*3.6	236	19x25	0.497	6.076
12	IPE450	HEA340	UPN140	168.3*4	379	21x30	0.602	4.414
13	IPE360	HEA300	UPN160	219.1*5	376	15x40	0.627	4.059
14	IPE400	HEA320	UPN160	168.3*4	364	17x35	0.612	4.268
15	IPE330	HEA320	UPN180	139.7*4	383	19x30	0.672	3.454
16	IPE330	HEA320	UPN120	139.7*4	297	21x25	0.566	4.948



Şekil 3 Parametre seviyelerine göre tasarım parametrelerinin ile ortalama S/N oranları arasındaki değişim.

Şekil 3' te verilen grafik incelendiğinde en fazla değişimin kolon yüksekliğinde, en az değişimin çatı eğiminde olduğu görülmektedir. Minimum çelik yapı ağırlığını etkileyen parametrelerin etki oranı varyans analizi elde edilmiş olup sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiği zaman tasarımda en etkili parametrenin kolon yüksekliği ve en az etkili parametrenin çatı eğimi olduğu görülmüştür.

Tablo 5. Varyans Analiz Sonuçları.

Parametre	Serbestlik Derecesi (DOF)	Kareler Toplamı (Ss)	Varyans	Etki oranı (P) (%)
H: Kolon Yüksekliği(m)	3	13.94631	4.648770	40.130
B: Makas açıklığı (m)	3	3.72088	1.240295	10.707
Lç: Çerçeve arası mesafe (m)	3	7.57186	2.523952	21.788
m: Çatı eğimi (°)	3	0.16467	0.054889	0.474
N: Gergi Çubuğu sayısı	3	9.34870	3.116234	26.901
Toplam	15	34.752		

Minimum çelik yapı ağırlığını veren optimum tasarım parametreleri ve seviyeleri Tablo 6'da verilmiştir. Minimum çelik yapı ağırlığı için tahmin edilen parametre ve seviyelerine göre SAP 2000' de çelik yapı analiz edilerek doğrulama yapılmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada, kolon yüksekliği, makas açıklığı, çerçeve arası mesafe, çatı eğimi ve gergi çubuğu sayısı tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak endüstriyel çelik yapı ağırlığına etkisi araştırılmıştır. Seçilen tasarım parametrelerinin minimum yapı ağırlığını

veren değerleri istatistiksel analizle tahmin edilmiştir. Taguchi metodu kullanılarak elde edilen tasarım parametreleri için doğrulama analizleri yapılarak rölatif hata hesaplanmıştır. Elde edilen %1.4 değerindeki rölatif hata değeri Taguchi metodunun tasarım kriterlerinin araştırılmasında güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Taguchi metodu kullanılarak yapılan analizlerin kapsamının genişletilmesi ile tasarımlarda kolaylıkla kullanılabilecek ve optimum boyutları veren ön tasarım abaklarının elde edilmesi mümkün olabilecektir. Önerilen metodun kolay uygulanabilir ve güvenilir bir metod olması daha geleneksel yöntemlerden daha kısa zamanda ekonomik tasarımların elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 6 Optimizasyon Sonuçları.

Parametre	Parametre Seviyesi	Parametre Değeri	Parametre Etki Oranı
H: Kolon Yüksekliği(m)	1	5m	1.23
B: Makas açıklığı (m)	1	15m	0.74
L: Çerçeve arası mesafe (m)	1	5m	0.78
m: Çatı eğimi (°)	3	15.00	0.11
N: Gergi Çubuğu sayısı	4	3	0.68
Bu seviyelerde beklenen minimum yapı ağırlığı			0.363
Doğrulama analizi ile bulunan minimum yapı ağırlığı			0.358
Rölatif Hata (%)			1.4

Kaynaklar

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Ankara, Türkiye.

American National Standard (2016) Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-16, American Institute of Steel Construction, 130 East Randolph Street, Suite 2000 Chicago, Illinois 60601-6204.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018) Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYDE), Ankara, Türkiye.

Hınışlıoğlu, S., and Bayrak, O. Ü. (2004). Optimization of early flexural strength of pavement concrete with silica fume and fly ash by the Taguchi method. Civil Engineering and Environmental Systems, 21(2), 79-90.

Sancıoğlu, S., ve İlgün, A. (2018). Hangar Tipi Çelik Endüstri Yapılarında Optimum Çerevenin Belirlenmesi, International Conference on Science and Technology, 5 – 9 October 2018, Prizren, Kosova.

SAP 2000, Linear and nonlinear static and dynamic analysis of three-dimensional structures, Advanced Version 20.2, Berkeley, CA, US: Computer and Structures.

Statistica, Statistical Analyses Computer Program, TIBCO Software Inc., <https://www.tibco.com/products/tibco-statistica>.

Taguchi, G., (1990). Introduction to quality engineering, Asian Productivity Organisation, Japan, ISBN 92-833-1083-7, 97-132.

Tan, O., Zaimoglu, A. S., Hınıslioglu, S., and Altun, S. (2005). Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts. Tunnelling and underground space technology, 20(2), 167-173.

Türk Standardı (2007) Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri – TS EN1991-1-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türk Standardı (2007) Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler - Rüzgar Yükleri – TS EN 1991-1-4, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türkmen, İ., Gül, R., and Çelik, C. (2008). A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures. Building and Environment, 43(6), 1127-1137.

Uray, E., and Ozcan Tan. (2015). Digital Proceeding of ICOCEE – Cappadocia2015 Investigation of Design Criteria for the Type of Gabion Walls. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1185.5845>.

Uray, E., Carbas, S., and Tan, O. (2018). Determining of Safety Factors for Cantilever Retaining Wall with Mathematical Model. Mathematical Studies and Applications 2018 4-6 October 2018, 100.