

INVESTIGATION OF THE FACTORS AFFECTING DESIGN OF ANCHORED SHEET PILES

Özcan TAN	Selim ALTUN	M. Tarık DİLAVER	İ. Hakkı ERKAN
Assoc. Prof. Dr.	Asst. Prof. Dr.	Civil Engineer (MSc)	Research Asst.
Selçuk Univ.	Ege Univ.	Yüksel İnşaat,	Selçuk Univ.
Civil Engn. Dept.	Civil Engn. Dept.	Ankara	Civil Engn. Dept.

ABSTRACT

In the present study, the design of built-in anchored sheet piles, which are very important in Geotechnical Engineering, have been examined. One of the methods for the design of anchored sheet piles is Fixed Earth Support Method.

Using Taguchi Method on the 1024 data determined by the Fixed Earth Support Method with the analyses carried out on 16 data, which have been selected using L_{16} orthogonal array table with 5 parameters and 4 levels. It was determined that the most efficient parameter on the anchor force and foundation depth of the sheet piles was angle of internal friction. As a result, error proportions have been examined and it is understood that it is possible to reach the results with the using Taguchi Method in a 95% safety range.

Keywords: Sheet Pile, Optimization, Taguchi Method

ANKRAJLI PALPLANŞ PERDELERİNİN TASARIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

Özcan TAN	Selim ALTUN	M. Tarık DİLAVER	İ. Hakkı ERKAN
Doç. Dr.	Yrd. Doç.Dr.	İnş.Yük. Müh.	Arş. Gör.
Selçuk Üniv.	Ege Üniv.	Yüksel İnşaat,	Selçuk Üniv.
İnşaat Müh. Böl.	İnşaat Müh. Böl	Ankara	İnşaat Müh. Böl.

ÖZET

Bu çalışmada, Geoteknik mühendisliğinde önemli bir yere sahip olan zemine ankastre ankrajlı palplanşların tasarımı incelenmiştir. Zemine ankastre ankrajlı palplanşların tasarımında kullanılan yöntemlerden birisi Eşdeğer Kiriş Yöntemidir.

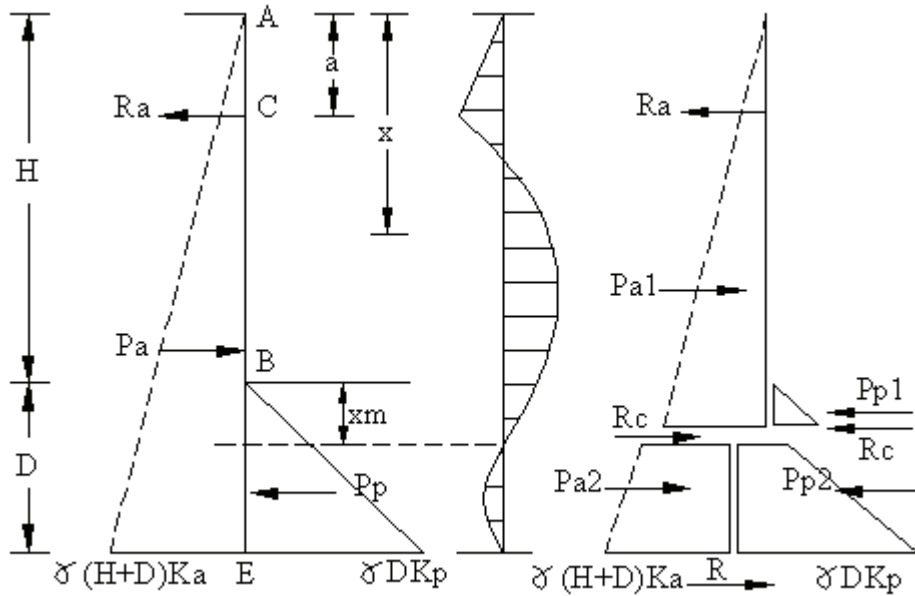
Eşdeğer Kiriş Yöntemi ile olan 1024 adet veri üzerinde Taguchi Yöntemi uygulanarak 5 parametrelili ve 4 seviyeli L_{16} ortogonal dizin tablosu yardımıyla seçilen 16 adet veri üzerinde analizler yapılmıştır. Palplanş perdelerin ankraj kuvveti ve gömülü derinliği üzerinde en etkili parametrenin içsel sürtünme açısı olduğu belirlenmiştir. Taguchi Yöntemi kullanılarak sonuçlara %95 güven aralığı içerisinde ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Palplanş perde, Optimizasyon, Taguchi Yöntemi

GİRİŞ

Palplanşlar; hazır yassı kazıkların yan yana, sürekli perde oluşturacak şekilde çakılması ile oluşturulan batardo inşaatı, rıhtım duvarı, su yapılarında sızıntı uzunluğunun artırılması, toprak kaymalarının önlenmesi, ve iksa amaçlı zemini tutmak için yapılmış olan yapılardır. Genelde çelik, betonarme ve ahşaptan yapırlılar. Konsol ve ankrajlı olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Ankrajlı palplanşlar da zemine serbestçe oturan (gömülü derinliği küçük) ve zemine ankastre (gömülü derinliği büyük) olmak üzere sınıflandırılırlar.

Gömülü derinliği büyük ankrajlı palplanş perdelerinde perde alt ucunun dönmediği, X_m noktasında plastik mafsallı olduğu düşünülerek sistem izostatik olarak eşdeğer kiriş yöntemi ile çözülebilmektedir. X_m 'in yeri ise Φ içsel sürtünme açısına bağlı olup plastik mafsallı noktasından sistem iki parçaya ayrılarak denge denklemleri ile ankraj kuvveti (R_A) ve gömülü derinlik (D_f) belirlenebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Zemine ankastre ankrajlı palplanş perdesi (kohezyonsuz zemin)

Çalışmada 5 faktörlü 4 seviyeli L_{16} ortogonal dizin tablosu seçilmiştir. Dizin tablosundaki kombinasyonlar için ankraj kuvvetleri ve gömülü derinlik değerleri Eşdeğer Kiriş Yöntemi ile

hesaplanmıştır. S/N (değişim indeksi) analizleri ve varyans analizleri yapılarak parametrelerin sonuç üzerindeki etki oranları araştırılmıştır. Ayrıca parametre seviyelerinin ortalama S/N değerleri dikkate alınarak zemine ankastre olan palplanş perdelerinde ankraj kuvveti ve gömülü derinliği belirlemede kullanılabilecek eşitlikler geliştirilmiştir. Geliştirilen eşitliklerin güvenilirliğini test etmek için istatistiksel analizler yapılmış ve Eşdeğer Kiriş Yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Çalışma hakkında detaylı bilgi [1] de bulunmaktadır.

AMAÇ

Çalışmada, kohezyonsuz zemine ankastre olan ankrajlı palplanş perdelerinde ankraj kuvveti (P_A) ve gömülü derinlik (D_f) üzerinde etkili olan faktörler güçlü bir optimizasyon tekniği olan Taguchi Yöntemi ile araştırılması ve parametrelerin etki oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ile pratik amaçlar için kullanılabilecek eşitliklerin geliştirilmesi çalışma amaçları arasında yer almıştır.

TAGUCHİ YÖNTEMİ

Taguchi Yöntemi, optimizasyon ve parametrik analiz çalışmalarında maliyeti düşürmek, sonuçlara daha az sayıda deney yaparak kısa sürede ulaşmak ve parametrelerin hedef sonuç üzerindeki etkilerini belirlemek için tam faktoriyel deney tasarımına alternatif olarak geliştirilmiş güçlü bir yöntemdir. Yöntemde kontrol edilebilen faktörlerin optimum değerlerini belirleyebilmek için özel olarak tasarlanmış ortogonal dizinler (deney tasarımları) kullanılmaktadır. Bu çalışma için kullanılan L_{16} deney tasarım tablosu Tablo (1)' de verilmiştir. Bu tablonun 16 satırı ve maksimum beş kolonu bulunmaktadır. Kolon sayısı parametre sayısına göre değişebilmektedir. Her satır o satırdaki faktör seviyeleri ile yapılacak olan çalışma numarasını göstermektedir. Yöntemde 16 farklı durum için yapılan deney sonuçları kullanılarak S/N analizleri yapılmaktadır. S/N oranı (değişim indeksi) ise aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$S / N = -\log_{10}(MSD) \quad (1)$$

Tablo 1. L₁₆ Ortogonal dizin tablosu

Deney no	Parametreler ve Deneylerin Yapılacağı Parametre Seviyeleri				
	F1	F2	F3	F4	F5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

MSD değeri, hedef değerin en büyük, en küçük ve belirli bir değer olması durumları için sırayla Eşitlik (2)- Eşitlik (4) den hesaplanmaktadır.

$$MSD = \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2} \right) / n \quad (2)$$

$$MSD = \left(\frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n} \right) \quad (3)$$

$$MSD = \left(\frac{(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2 + \dots + (Y_n - Y_0)^2}{n} \right) \quad (4)$$

Buradaki Y₁ ... Y_n değerleri deney (analiz) sonuçlarıdır. n ise bir deneydeki tekrar sayısı, Taguchi Yöntemi ile beklenen (hedef) değer ise Eşitlik (5) ile belirlenir.

$$Y_{\text{beklenen}} = \sqrt{\frac{1}{MSD_{\text{ort}}}} \quad (5)$$

Deney veya çalışma sonuçlarının güvenilirliği için istatistiksel analizlerin yapılması gereklidir. Bunun için çok değişkenli varyans analizi (ANOVA) kullanılarak parametrelerin sonuç üzerindeki etki yüzdeleri ve güven düzeyleri belirlenmektedir. Yöntem hakkında detaylı bilgi [1], [2]' de bulunmaktadır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Çalışma için seçilen parametreler ve parametre seviyeleri Tablo (2)' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada seçilen parametreler ve seviyeleri

Seviye	Parametreler				
	Zemin yüksekliği (H) (m)	Ankraj derinliği (a) (m)	İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Sürtünme açısı (δ)	Doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3) (γ_n)
1	4	0,50	10	0	14
2	6	1,00	20	5	16
3	8	1,50	30	10	18
4	10	2,00	40	20	20

L_{16} ortogonal dizin tablosuna uygun 16 adet kombinasyon için ankraj kuvvetleri (R_a) ve gömülü derinlikler (D_f) eşdeğer kiriş yöntemi ile belirlenmiş ve Tablo (3). de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak yapılan S/N analizleri sonucunda belirlenen değişim indeksleri (S/N değerleri) de Tablo (3)'te verilmiştir. Ankraj kuvveti ve gömülü derinlik için parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri ise Tablo (3)'te gösterilmiştir.

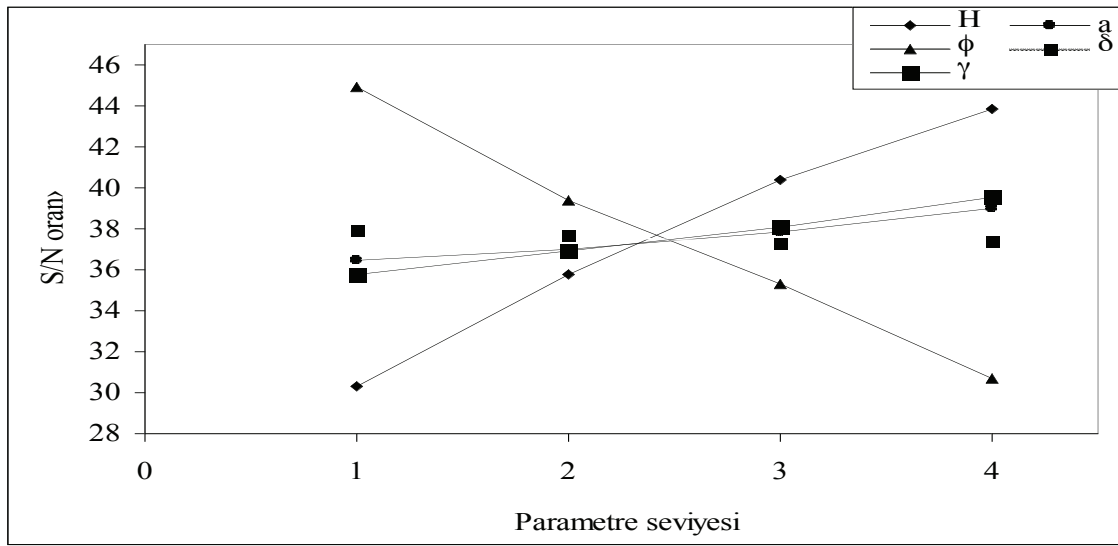
Tablo 3. Ankraj kuvveti için R_a ve S/N değerleri

No	H (m)	a (m)	Φ	δ	γ_n (kN/m^3)	R_a (kN)	D_f (m)	S/N oranı (R_a için)	S/N oranı (D_f için)
1	4	0.5	10	0	14	56.83	12.49	35.09	21.93
2	4	1	20	5	16	35.24	3.93	30.94	11.88
3	4	1.5	30	10	18	26.91	1.64	28.60	4.27
4	4	2	40	20	20	21.27	0.64	26.56	-3.89
5	6	0.5	20	10	20	80.69	5.17	38.14	14.27
6	6	1	10	20	18	139.39	7.68	42.88	17.70
7	6	1.5	40	0	16	27.83	2.23	28.89	6.96
8	6	2	30	5	14	46.12	2.99	33.28	9.50
9	8	0.5	30	20	16	64.09	2.68	36.14	8.56
10	8	1	40	10	14	34.90	2.30	30.86	7.22
11	8	1.5	10	5	20	317.02	18.53	50.02	25.36
12	8	2	20	0	18	167.93	9.57	44.50	19.62
13	10	0.5	40	5	18	66.27	3.40	36.43	10.63
14	10	1	30	0	20	146.89	6.44	43.34	16.17
15	10	1.5	20	20	14	157.65	6.06	43.95	15.65
16	10	2	10	10	16	379.20	18.42	51.58	25.31
Ortalama S/N								37.57	13.197

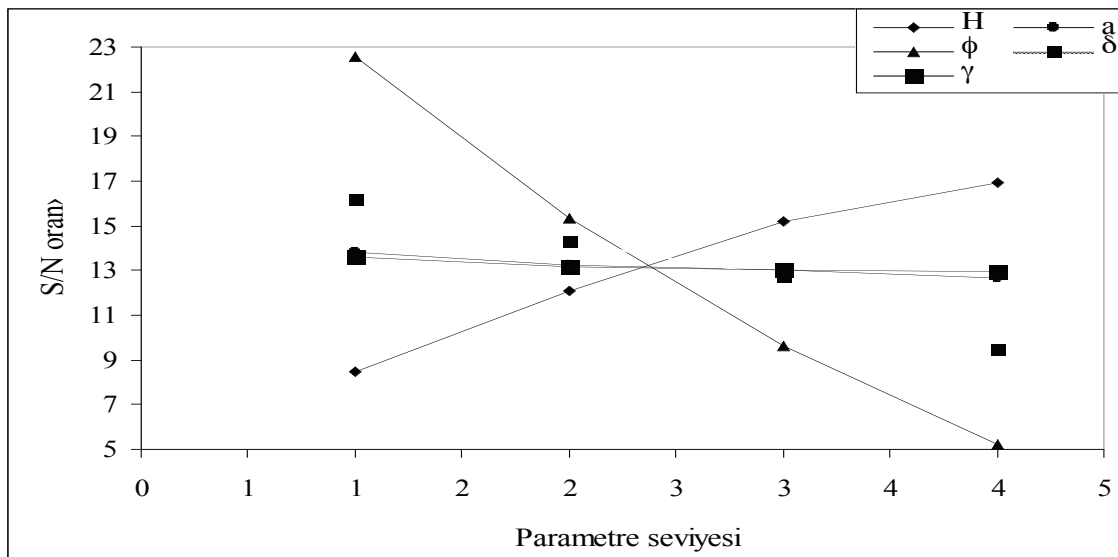
Tablo (4). Parametre seviyelerinin ortalama S/N oranları

Parametre/seviye	S/N ORANLARI (R_A)				S/N ORANLARI (D_f)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Zemin Yüksekliği (H)	30.30	35.79	40.38	43.82	8,45	12,11	15,19	16.94
Ankraj derinliği (a)	36.44	37.01	37.87	38.98	13,85	13,24	13.06	12.63
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	44.89	39.38	35.33	30.68	22.58	15.35	9.63	5.23
Sürtünme açısı (δ)	37.96	37.67	37.29	37.38	16.17	14.34	12.77	9.51
D. birim hacim ağır. (γ)	35.80	36.89	38.10	39.51	13.58	13.18	13.06	12.98

Tablo 4 de verilen değerler kullanılarak çizilen etki grafikleri Şekil 2 ve Şekil (3)' te verilmiştir.



Şekil 2. Ankraj kuvveti için parametre seviyesi-S/N oranı değişimi



Şekil 3. Gömülü derinlik için parametre seviyesi-S/N oranı değişimi

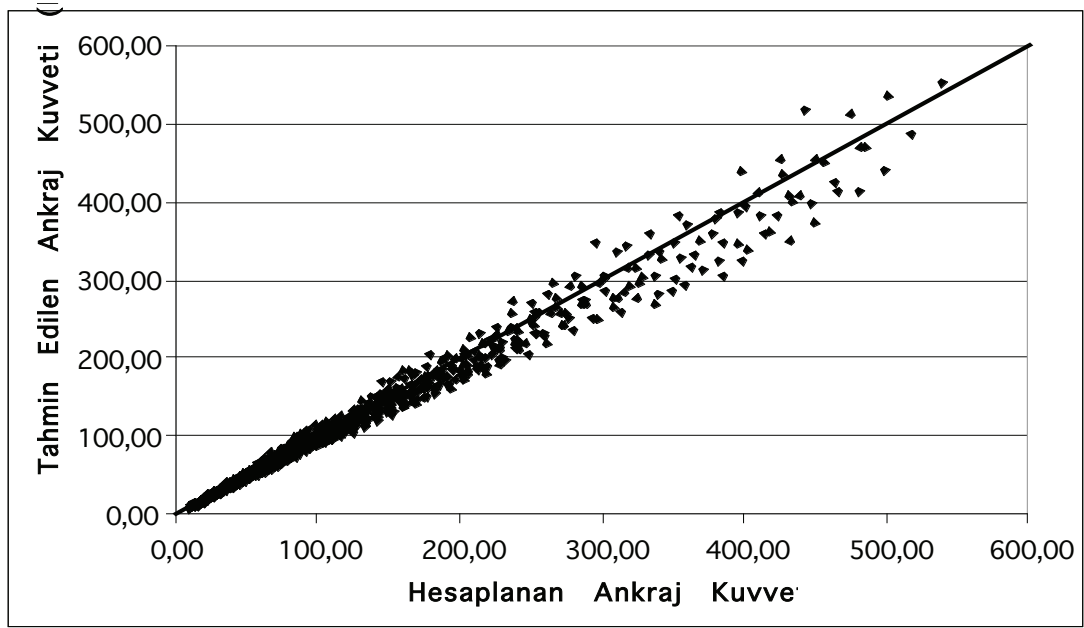
Ankraj kuvveti ve gömülü derinlik için parametrelerin etki derecelerini belirlemek amacıyla çok değişkenli varyans analizleri (ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo (5)'te de verilmiştir.

Tablo (5) Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

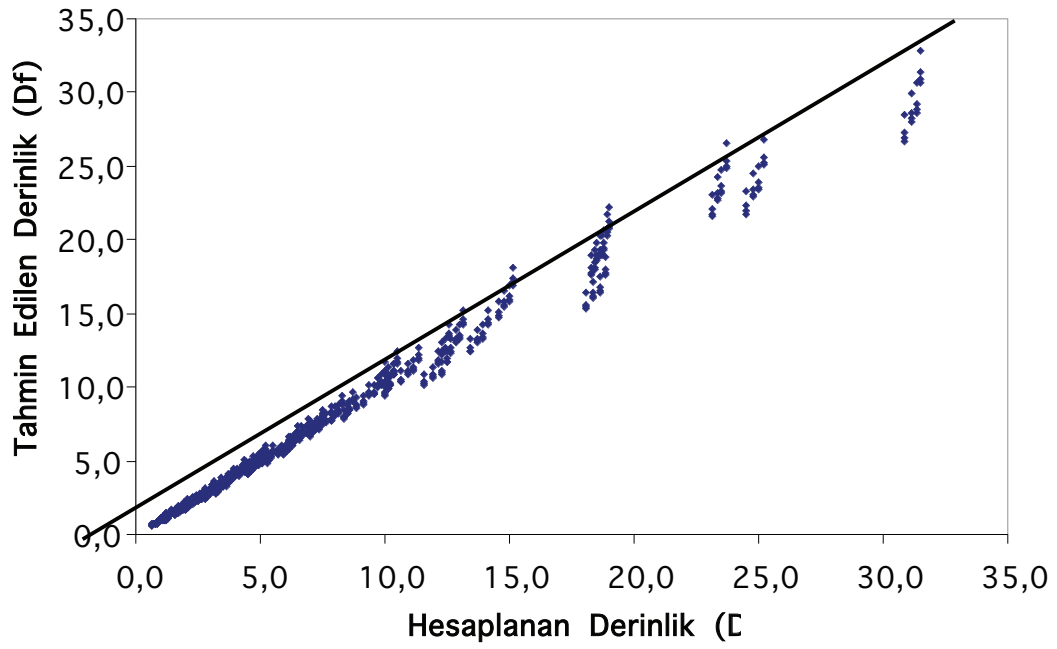
Parametre	Ankraj Kuvveti (R_A)				Gömülü Derinlik (D_f)		
	Serbest. Derece. (DOF)	Kareler Toplam (Ss)	Varyans	Etki oranı (P) (%)	Kareler Toplam (Ss)	Varyans	Etki oranı (P) (%)
H	3	412.20	137.40	46.0	163.14	54.38	17.4
A	3	14.60	4.87	1.63	3.06	1.02	0.3
ϕ	3	437.43	145.81	48.8	675.23	225.08	72.0
δ	3	1.08	0.36	0.12	95.85	31.95	10.2
γ_n	3	30.71	10.24	3.43	0.85	0.28	0.09
Toplam	15	896.02		100	938.13		100

Ankraj kuvveti üzerinde en etkili parametreler etki derecesine göre %49 oranı ile içsel sürtünme açısı ve % 46 oranı ile zemin yüksekliğidir. Ankraj kuvveti; ϕ açısı arttıkça yaklaşık doğrusal olarak azalmakta, H yüksekliği arttıkça yaklaşık doğrusal olarak artmaktadır. Gömülü derinlik üzerinde ise en etkili parametrenin %72 oranı ile içsel sürtünme açısı, ikinci etkili parametrenin ise %17 lik oran ile zemin yüksekliği olduğu belirlenmiştir. İçsel sürtünme açısı arttıkça D_f azalmakta, H yüksekliği arttıkça D_f artmaktadır. Ankraj kuvveti üzerinde sürtünme katsayısının, gömülü derinlik üzerinde ise doğal birim hacim ağırlığının etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. 1024 adet veri için Taguchi yöntemi uygulanarak beklenen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki dağılım Şekil (4) ve Şekil (5)'te hesaplanan ve tahmin edilen değerler arasındaki rölatif hataların histogramları ise Şekil (6) ve Şekil (7)'de verilmiştir.

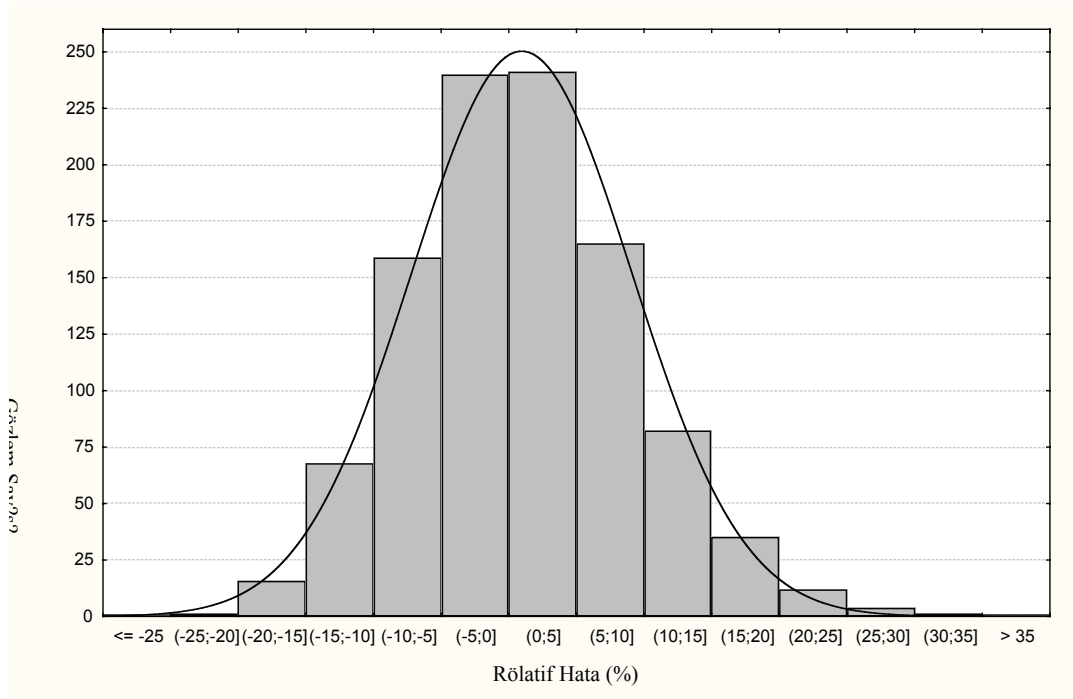
Şekil (6) incelendiğinde Taguchi Yöntemi ile yapılan ankraj kuvveti tahmininde rölatif hatanın %20 den küçük olma olasılığı % 98, %15 den küçük olma olasılığı % 93, %10 dan küçük olma olasılığı %79 ve %5'ten küçük olma olasılığı %47 olarak belirlenmiştir.



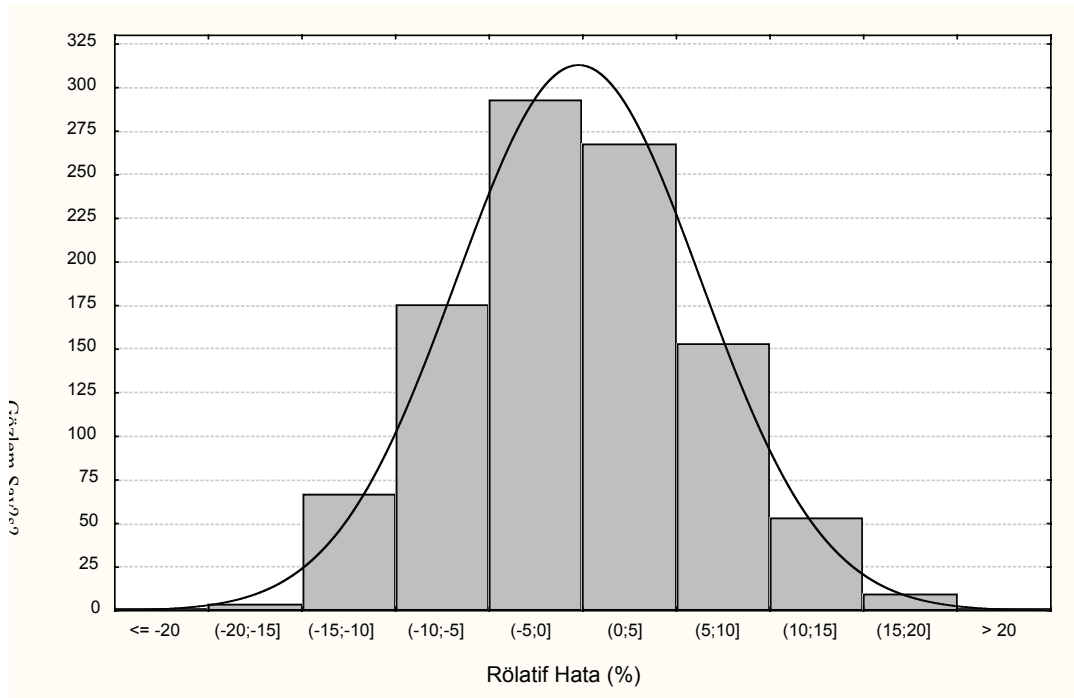
Şekil (4) Hesaplanan-tahmin edilen ankraj kuvvetleri arasındaki dağılım



Şekil (5) Hesaplanan-tahmin edilen gömülü derinlik değerleri arasındaki dağılım



Şekil (6) Tahmin Edilen Ankraj Kuvveti İçin Rölatif Hataların Dağılımı



Şekil (7) Tahmin Edilen Gömülü Derinlik İçin Rölatif Hataların Dağılımı

Şekil (7) incelendiğinde Taguchi Yöntemi ile yapılan gömülü derinlik tahmininde rölatif hatanın %20'den küçük olma olasılığı %100, %15'den küçük olma olasılığı %99, %10'dan küçük olma olasılığı %87 ve %5'ten küçük olma olasılığı %55 olarak belirlenmiştir. Yine

yapılan analizler sonucunda Taguchi Yöntemi ile yapılan tahminde ortalama hata %5.3 olarak belirlenmiştir. Bu oranlar Taguchi Yönteminin oldukça güçlü bir tahmin yeteneğinin olduğunu göstermektedir. Taguchi yöntemi ile ankraj kuvveti ve gömülü derinliğin oldukça güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi nedeniyle, kum içindeki ankastre ankrajlı palplanş perdelerinde ankraj kuvveti ve gömülü derinliği belirlemede kullanılabilecek bağıntıların geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla parametre seviyelerine ait ortalama S/N değerleri kullanılarak değişik matematik fonksiyonlar seçilip istatistiksel analizler yapılmış ve hata oranları belirlenmiştir. Araştırmalar sonucunda geliştirilen modeller aşağıda verilmiştir.

Ankraj kuvveti için;

$$R_A(kN) = \left(\frac{1}{10^\alpha} \right)^{0.5} \quad (6)$$

Bu bağıntıda α toplam etki katsayısı olup aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$\omega = -0.1(\omega_\delta + \omega_\phi + \omega_a + \omega_H + \omega_\gamma) \quad (7)$$

w_δ : sürtünme açısı etki faktörü, w_ϕ : içsel sürtünme açısı etki faktörü; w_a : ankraj derinliği etki faktörü, w_H : zemin yüksekliği etki faktörü, w_γ : Birim hacim ağırlık etki faktörüdür. Etki faktörleri farklı parametre değerleri için Tablo (6)'da verilmiştir. Geliştirilen modelin güvenilirliğini belirlemek amacı ile 1024 farklı durum için yapılan istatistiksel analizlerde ortalama hata %6.3 olup, hata payı +%18.5 ile -15.5 arasında değişmektedir.

Tablo (6) Ankraj kuvveti etki faktörleri

$\gamma_n < 22 \text{ kN/m}^3$ için	$\Psi_\gamma = 0.511 \gamma - 1.115$
$\delta < 10^\circ$ için	$\Psi_\delta = -3.773 \tan \delta + 7.903$
$\delta > 10^\circ$ için	$\Psi_\delta = 0.484 \tan \delta + 7.1525$
$\phi < 20^\circ$ için	$\Psi_\phi = -29.355 \tan \phi + 19.983$
$\phi > 20^\circ$ için	$\Psi_\phi = -18.294 \tan \phi + 15.956$
$a < 1\text{m.}$ için	$\Psi_a = 0.728a + 6.217$
$a = 1.0\text{m}-1.5\text{m}$ arası	$\Psi_a = 1.722a + 5.223$
$a > 1.5\text{m.}$ için	$\Psi_a = 2.224a + 4.470$
$H < 6\text{m}$ için	$\Psi_H = 2.918H - 12.154$
$H = 6\text{m}-8\text{m}$ arası	$\Psi_H = 2.521H - 9.769$
$H > 8\text{m}$ için	$\Psi_H = 1.722H - 3.383$

Gömülü derinlik için;

$$D_f(m) = \left(\frac{1}{10^\lambda} \right)^{0.5} \quad (8)$$

Bu bağıntıda λ toplam etki katsayısı olup aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$\lambda = -0.1(D_\delta + D_\phi + D_a + D_H) \quad (9)$$

Modele ait etki faktörleri (D_δ , D_ϕ , D_a ve D_H) farklı parametre değerleri için Tablo (7)'de verilmiştir. Gömülü derinlik için geliştirilen modelin güvenilirliğini belirlemek amacı ile 1024 farklı durum için yapılan istatistiksel analizlerde ortalama hata %4.75 olup, hata payı +%14.8 ile -14.5 arasında değişmektedir.

Tablo (7). Gömülü derinlik etki faktörleri

$\delta < 5^\circ$ için	$D_\delta = -20,914 \tan \delta + 6.279$
$\delta > 5^\circ$ için	$D_\delta = -17,44 \tan \delta + 5.963$
$\phi < 24.85^\circ$ için	$D_\phi = -38,471 \tan \phi + 19.459$
$\phi > 24.85^\circ$ için	$D_\phi = -16,788 \tan \phi + 9.419$
$a < 1\text{m.}$ için	$D_a = -1,212a + 4.558$
$a = 1.0\text{m}-1.5\text{m.}$ arası	$D_a = -0,368a + 3.714$
$a > 1.5\text{m.}$ için	$D_a = -0,854a + 4.443$
$H < 7.40\text{m}$ için	$D_H = 1,826 H - 8.744$
$H > 7.40\text{m.}$ için	$D_H = 0,874H - 1.699$

SONUÇ

Bu çalışmada zemine ankastre Ankrajlı palplanş perdelerinde gömülü derinlik ve ankraj kuvvetini etkileyen parametreler, Taguchi yöntemine göre 5 parametrelili, 4 seviyeli standart L_{16} ortogonal dizin tablosu kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- Ankraj kuvveti üzerinde en etkili parametre % 49 oran ile içsel sürtünme açısı olup 2. derecede etkili parametre ise % 46 oran ile zemin yüksekliğidir.

- G6m6l6 derinlik 6zerinde en etkili parametre i6sel s6rt6nme a6ısı olup etki derecesi %72 dir. 2. derecede etkili parametre ise %17 ile zemin y6ksekliğidir. Doğal birim hacim ağırlığının etkisi ihmal edilebilir d6zeydedir.
- Taguchi Y6ntemi ile yapılan tahminler (beklenen değerler), ger6ek değerlere olduk6a yakın olup, ortalama hata %5.5 civarındadır. Bu durum g66cl6 bir optimizasyon tekniği olan Taguchi Y6nteminin geoteknik m6hendisliğindeki parametrik 6alışmalarda da uygulanabileceğini g6stermektedir.
- Ankraj kuvvetini ve g6m6l6 derinliği belirlemek i6in geliştirilen kazık yatay y6k taşıma kapasitesini belirlemek i6in S/N oranları kullanılarak geliştirilen Eşitlik (6) ve Eşitlik (8) pratik ama6lar i6in kullanılabilir. Daha fazla veri ve parametre kullanılarak modellerdeki maksimum hata oranının %10 un altında kalması i6in 6alışmalar s6rd6r6lmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dilaver, M.T. 2007. Yanal Y6kl6 Kazıkların Tasarımını Etkileyen Fakt6rlerin Araştırılması, *Y6ksek Lisans Tezi*, S.6. Fen Bilimleri Enstit6s6, Konya.
- [2] G. Taguchi, System of Experimental Design, Vol.1-2 (New York: Quality Resources 1987).
- [3] Phadke, M. S. 1989. Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, New York.