

DİKEY YÜKLÜ AÇISAL BİR MİNİ KAZIĞIN KUM ORTAMINDAKİ DAVRANIŞININ NÜMERİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF A VERTICALLY LOADED ANGULAR MINI PILE IN SAND ENVIRONMENT BY NUMERICAL METHODS

**Büşra Nur ÇITIRIK¹, Arshed Mohammed Saeed ZEENALABDEEN²,
İsa KUL³, Esra URAY⁴**

ÖZET

Zemin iyileştirme yöntemleri taşıma gücü zayıf olan zeminlerin taşıma kapasitesini arttırmak, oturmaları engellemek için kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler arasından mini kazıklar, sıvılaşma problemi olmayan zeminlerde farklı oturmaları engellemek için belirli aralıklarla homojenliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Mini kazık uygulamaları maliyet ve uygulanabilirlik açısından fore kazıklara göre daha uygun, kolay olmasına rağmen mühendislik tasarımı gereği uygun ve güvenilir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Güvenilir ve maliyeti optimum seviyede tutabilen tasarımlar için mini kazığın taşıma kapasitesini etkileyen faktörler kazık çapı, kök boyu, eğimi, beton sınıfı gibi parametrelerin uygun değerleri elde edilmelidir. Bu çalışmada, kohezyonsuz kum zeminde yerleştirilmiş olan bir mini kazık modelinin farklı açılarda yapılan yüklemeler altındaki taşıma gücü kapasitesine çap, kök boyu, eğim ve beton sınıfının etkileri, birçok alanda kalite iyileştirilmesinde başarılı uygulamaları bulunan istatistiksel deney tasarım yöntemi olan, Taguchi yöntemi ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında mini kazık tasarımı için belirlenen parametrelerin dikkate alındığı analizlerde Taguchi metodu kullanılarak Minitab istatistik analiz programında 9 farklı tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarımlar GEO5 analiz programında 6 farklı yükleme yapılarak taşıma gücü analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, Taguchi yöntemi ile parametrelerin optimum değerlerinin elde edildiği ayrıca taşıma gücüne etki sıralamasında ilk parametrenin kök boyu, ikinci parametrenin kök çapı olduğu görülmüşken, eğim, beton sınıfının taşıma gücü kapasitesine olan etkisinin çok fazla olmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mini kazık, Taguchi yöntemi, Nümerik analiz, Parametrik çalışma

¹ Yüksek lisans öğrencisi, KTO Karatay Üniversitesi, citirikbusra@gmail.com (Sorumlu yazar)

² İnşaat mühendisi, Özel sektör, ersadmuhammed11@gmail.com

³ Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi, isa.kul@karatay.edu.tr

⁴ Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üniversitesi, esra.uray@karatay.edu.tr

ABSTRACT

Soil improvement methods are methods used to increase the bearing capacity of soils with weak bearing capacity and to prevent settlements. Among these methods, mini piles are used in order to prevent different settlements on soils that do not have liquefaction problems with the aim of ensuring homogeneity at certain intervals. Although mini pile applications are more convenient and easier than bored piles in terms of cost and applicability, they must be designed in the appropriate and reliable way due to engineering design. Appropriate values of parameters such as pile diameter, root length, slope, concrete class, factors affecting the bearing capacity of mini piles should be obtained for reliable and cost-effective designs. In this study, the effects of diameter, root length, slope and concrete class on the bearing capacity of a mini pile model placed in a cohesionless sand under different loadings at different angles were investigated by the Taguchi method, which is a statistical experimental design method that has successful applications in quality improvement in many areas. Within the scope of the study, 9 different designs were created in the Minitab statistical analysis program by using the Taguchi method in the analyzes in which the parameters determined for the mini pile design were taken into account. Bearing capacity analyzes were made by making 6 different loadings for the designs created in the GEO5 analysis program. Consequently, it was observed that the optimum values of the parameters were obtained with the Taguchi method, and the first parameter in the order of influence on the bearing capacity was root length and the second parameter was root diameter, while the effect of slope and concrete class on bearing capacity was not much.

Keywords: *Mini-pile, Taguchi method, Numerical analysis, Parametric study*

1. GİRİŞ

Zemin iyileştirme yöntemleri, farklı oturmalara sahip ve taşıma gücünün az olduğu zeminlerde taşıma gücünün artırılması için kullanılan yöntemlerdir. Mini kazıklar bir zemin iyileştirme yöntemidir. Mini kazıklar, fore kazıklara göre daha düşük çaplarda imal edilen düşey yapısal destek elemanları olarak da adlandırılır (Dayıoğlu, 2010). Mini kazıklar iki farklı başlık altında incelenirse bunlardan ilki; doğrudan yük taşıyan ve taşıdığı yükü, fore kazıkların aksine içerisine enjekte edilen harç sayesinde, donatıya aktarabilen fore kazıkların alternatifidir, diğer grup ise Dr. Lizzu (1982) tarafından öne sürülen kök kazıklarıdır, bu kök kazıklarının çalışma prensibi üç boyutlu kök sistemini andıracak şekilde tasarlanıp zemin içerisinde homojenliği sağlayarak zemin stabilizasyonunu sağlamaktır. Bu başlık altında incelenen mini kazığın, zemine yükleri aktarması daima gövde sürtünme yüzeyinden oluşmaktadır. Yani yükler kayaya oturan kazıkların dışında, çevre sürtünmesi ile aktarılır (Demiröz ve Karaduman, 2009). Kök kazıkları yük taşımadıkları için ciddi bir donatıya ihtiyaç duymazken zeminde kompozit bir ortam oluşturur ve zemin güçlendirmesini sağlar (Baş, 2006).

Günümüzde sivilleşmanın olmadığı, derin kazıklı sistemlerin uygulanmasının zor olduğu ve inşaat alanının kısıtlı olduğu bölgelerde uygulanabilirlik açısından oldukça kolaylık sağlayan mini kazık uygulamaları artmıştır. Tarihi Fatih Camii Kütüphanesinin zemin sorununu ve temel uygulamasını incelenen çalışmada çatıdan gelen yağmur sularının temeldeki 2- 3,5 m lik marnlı tabakadaki karbonatlı yapıdaki dolgunun karbonatlarını yıkadığını ve bununda zeminde boşluklar meydana getirerek farklı oturmalara sebebiyet verdiği açıklanmıştır. Çözüm olarak zemindeki suyun drene edilmesini ve uygulanacak olan zemin iyileştirme

yönteminin zeminin ıslahını da içermesi gerektiğini belirterek mini kazık uygulamasını öne sürülmüştür. (Namlı, 2001). Çekme ve basınca çalışan mini kazıklar istenildiğinde sadece çekmeye çalışacak şekilde tasarlanıp uygulanabilmektedir. Buna örnek olarak literatürdeki bir çalışmada İstanbul'da otel temeli için 9 m derinlikte 30 cm çapında tasarlanan mini kazıkların çekme kapasitesi 90 t olarak belirlenmiştir yine aynı çalışmada İstanbul'da yapılan bir müzenin temel iyileştirmesinde 9 m derinlikte 30 cm çapında tasarlanan mini kazıkların çekme kapasitesi 100 t olarak belirlenirken İzmir'de inşa edilen bir alışveriş projesi kapsamında 7m derinliğinde 22 cm çapında çekme mini kazık uygulamasında çekme kapasitesi 105 t olarak belirlenebilmiştir (Korkmaz vd, 2017).

Mini kazığın taşıma kapasitesine etki eden faktörlerin fazla olmasından dolayı yapılacak tasarım çalışmasında minimum maliyet ile optimum taşıma gücünü dengeleyebilmek hem zaman alacaktır hem de maliyet noktasında kesin sonuçlar veremeyecektir. Bu alanda karşılaşılan sorunlara yönelik günümüzde kullanılan çok bilinmeyenli karmaşık problemlerin çözülmesinde farklı yöntemler ön plana çıkmıştır. Bu yöntemlerden biri de Genichi Taguchi (1986) tarafından önerilen istatistik tabanlı Taguchi metodudur. Taguchi Metodu, ortogonal dizileri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan bir deneysel tasarım tekniğidir. Taguchi yöntemi, ortogonal dizinleri kullanarak az sayıda deney veya çalışma yaparak kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini de minimize eden bir yöntemdir. Literatürde inşaat mühendisliği tasarım kriterlerinin araştırılmasında deneysel birçok çalışma bulunmaktadır. Tan ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada geoteknik mühendisliğinde önemli bir yere sahip olan yanal yüklü kazıkların taşıma kapasiteleri ve zemine ankastre ankrajlı palplanşların tasarımında kullanılmıştır. Kurban ve Babaaslan (2020) tarafından yapılan çalışmada tekstil takviyeli beton için yeni bir hibrit iplik tasarımı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Metot geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan tasarım problemlerinden biri olan dayanma duvarlarının tasarım kriterlerinin analitik olarak araştırılmasında kullanılmıştır (Uray ve Tan, 2015 ve Uray ve diğ., 2021). Taguchi metodunun parametrik çalışmalarda güvenilir ve güçlü bir yöntem olması sebebiyle optimizasyon algoritmalarının optimum parametrelerin tahmininde kullanılmaktadır (Yildiz ve Öztürk, 2010; Uray vd., 2022).

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, farklı bir çalışma konusu olan tekil mini kazık parametrelerinin taşıma gücüne etkisinin deneysel olarak araştırılması için bir ön çalışma olan istatistik tabanlı parametrik inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda tekil mini kazık tasarım parametrelerinin farklı değerleri için taşıma gücünün maksimum ve minimum olduğu optimum tasarım kombinasyonları ve tasarım parametrelerinin taşıma gücüne etkisi Taguchi Metodu ile belirlenmiştir.

2.1. Taguchi Methodu

Taguchi metodu, Taguchi (1986) tarafından geliştirilen üretimde kaliteyi artırma veya araştırma maliyetini ve zamanı azaltmaya yönelik uygulamalarda kullanılan istatistiksel tabanlı bir deney tasarım yöntemidir. Seçilen hedef değer üzerine parametrik etkinin ve parametrelerin optimum seviyelerinin araştırılmak istendiği bir deneysel çalışmanın parametreleri ve bunların farklı değerlerini oluşturan seviyelerinin meydana getirdiği kombinasyon geniş bir tasarım kümesine (deney sayısına) karşılık gelmektedir. Taguchi,

parametre seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirebilmesini sağlayan ortogonal dizileri önermiştir. Ortogonal dizi genel gösterimi, $L_d(a)^k$ ya da L_d şeklindedir. Burada, d, toplam deney sayısı, a, parametrelerin seviye sayısı, k, parametre sayısı, L, ortogonal diziyi göstermektedir. Taguchi tarafından önerilen ortogonal diziler kullanılarak geniş tasarım kümesindeki parametrelerin hedef değer üzerine etkisi ve optimum değerleri daha az sayıda deney ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle araştırma maliyeti azaltılmış ve zaman ve enerjiden kazanım elde edilebilmektedir. Ayrıca istatistik tabanlı yöntem ile optimum parametre değerleri ve hedef değeri tahmin edilebilmektedir. Tahmin edilen parametre değerine göre gerçekleştirilen doğrulama deneyi elde edilen sonuç ile tahmin edilen sonuç arasındaki hata düzeyi kabul edilebilir durumdadır (Tan vd., 2005; Kate, 2021).

Taguchi metodunda dikkate alınan bir diğer kavram deneysel çalışmada performans kriteri olarak kullanılan “Sinyal/Gürültü” (S/N) oranıdır. S/N oranı hedef değer durumuna göre “En büyük en iyi”, “En küçük en iyi” ve “Hedef değer en iyi” olarak üç farklı şekilde belirlenmekte olup sırasıyla Eşitlik 1-3 ile verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{(\sum 1/Y^2)}{n} \right] \quad (1)$$

$$S/N = -10 \log \left[\frac{(\sum Y^2)}{n} \right] \quad (2)$$

$$S/N = -10 \log \left[\frac{(\sum Y_{ort})}{\sigma^2} \right] \quad (3)$$

Burada, Y, Y_{ort} , σ^2 ve n sırasıyla hedef değer, hedef değer ortalaması, standart sapma ve deney tekrar sayısına karşılık gelmektedir.

Taguchi metodunda belirlenen S/N değerlerine göre optimum parametrelerin tahmin edildiği optimizasyon analizi yapılmaktadır.

2.2. Tekil Mini Kazık Tasarımı

Bu çalışmada, hedef değer olan tekil mini kazığın taşıma gücüne etki eden parametrelerin etkileri ve optimum değerleri araştırılmıştır. Mini kazık tasarımında kazık taşıma gücüne etkinin araştırılmasında Tablo 1’ de verilen kazık çapı (D), kök boyu ($L_{kök}$), kazık eğimi (m) ve beton sınıfı parametreleri dikkate alınmıştır. Tabloda verilen parametre seviyelerinin belirlenmesinde Terzi vd. (2010) tarafından yapılan kum zeminde yanal yüklü bir kazığın deneysel ve nümerik yöntemlerle incelendiği çalışma dikkate alınmıştır. Böylelikle laboratuvar ortamında mini kazık tasarımının araştırılmasına imkân verecek olan tasarım parametreleri ile deneysel çalışmayı planlamadan önce istatistiksel tabanlı incelemenin mümkün olacağı düşünülmüştür.

Tablo 1. Tasarım parametre ve seviyeleri

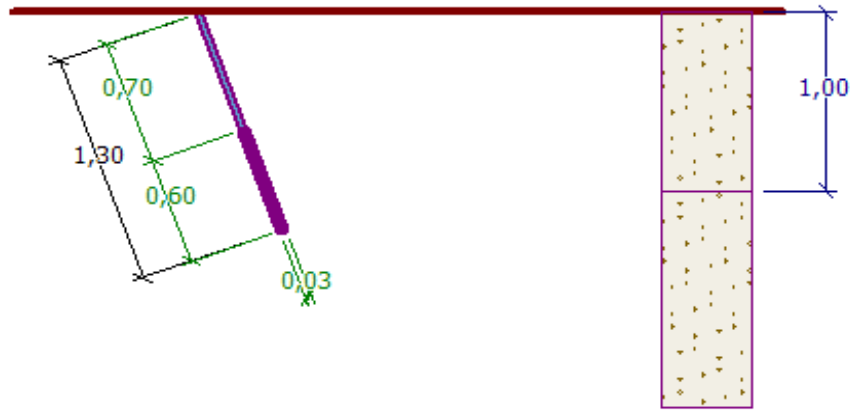
Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
D: Kazık çapı (mm)	33	44	55
$L_{kök}$: Kök boyu (m)	0.6	0.9	1.2
m: Kazık eğimi (°)	20	30	40
Beton sınıfı	C16	C20	C25

Tüm kombinasyon sayısı $3^4=81$ farklı tasarıma karşılık gelen her biri üç seviyeli dört parametrenin taşıma gücüne etkisinin araştırılmasında L9 ortogonal dizi kullanılmıştır. Böylelikle 81 deneme yerine Taguchi metodu ile 9 deneme yapılarak deney sayısı azaltılmıştır. Tablo 1’ de verilen parametre ve seviyeleri dikkate alınarak güncellenen Taguchi ortogonal dizi tasarımları Tablo 2’ de verilmiştir. Bu çalışmada S/N oranları en büyük en iyi ve en küçük en iyi durumlarına göre hesaplanmıştır. Tablo 2’ de verilen 9 farklı tasarım dikkate alınarak Taguchi çalışmasında hedef değer olan tekil mini kazık taşıma gücü değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2. Taguchi ortogonal dizi tasarımları

Tasarım No	D (mm)	L _{kök} (m)	m (°)	Beton sınıfı
1	33	0,6	20	C16
2	33	0,9	30	C20
3	33	1,2	40	C25
4	44	0,6	30	C25
5	44	0,9	40	C16
6	44	1,2	20	C20
7	55	0,6	40	C20
8	55	0,9	20	C25
9	55	1,2	30	C16

Tablo 2’ de verilen farklı tekil mini kazık tasarımları GEO5 geoteknik analiz yazılımı kullanarak modellenmiş ve numerik analiz sonuçları elde edilmiştir (GEO5). Oluşturulan 9 farklı tasarımlardan 1 no lu tasarımın tekil mini kazık GEO5 Şekil 1’ de modeli verilmiştir.

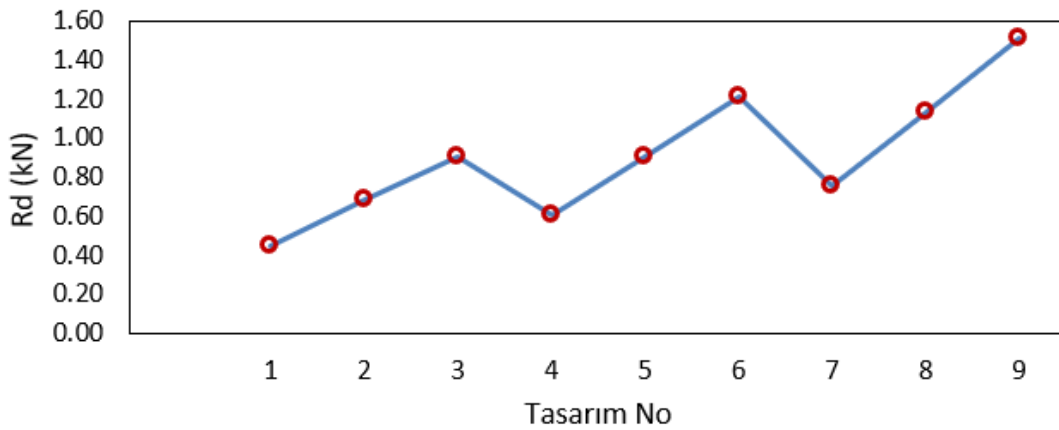


Şekil 1. 1 no lu tekil mini kazık tasarımı GEO 5 modeli (GEO5)

Kalınlığı 1.25mm, çelik sınıfı En10025:Fe360, elastisite modülü $E=210000$ MPa., akma dayanımı $f_y = 235$ MPa olan içi boş daire en kesitli kazık kökünün beton ile doldurulması ile model oluşturulmuştur. Tekil mini kazık birim hacim ağırlığı (γ) 18.5 kN/m^3 , içsel sürtünme açısı (ϕ_{ef}) 39° olan kohezyonsuz kum zemin ortamı GEO5’ te modellenmiştir. GEO5 mini kazık tasarımında elastik bir ortam üzerine giriş olarak modelleyen yay yöntemi ve EN 1997-DA2 yönetmeliği dikkate alınmaktadır. Lizzi teorisine göre gerçekleştirilen kök taşıma kapasite kök çevresinde yapılmaktadır (GEO5 Manual).

3. BULGULAR

Taguchi tarafından tanımlanan Sinyal/Gürültü oranı (S/N), deney tasarımında kontrol edilen parametrelerin sonuç üzerinde etkisini minimize etmek için kullanılan ve analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak adlandırılan bir terimdir. Bir dizi istatistik olarak ifade edilen S/N oranı bu çalışmada maksimum ve minimum taşıma gücü kapasitesine göre en küçük en iyi ve en büyük en iyi hedef değeri olarak seçilmiştir. Tekil mini kazığın GEO5 modellerinden elde edilen taşıma gücü değerleri (R_d) ve bu değerleri kullanılarak Eşitlik 1 ve 2 ye göre Minitab istatistik analiz yazılımı ile elde edilen en küçük en iyi (S/N(S)) ve en büyük en iyi (S/N(L)) S/N oranları Tablo 3' te verilmiştir. Yapılan GEO5 analiz sonucu 9 farklı tasarıma ait taşıma gücü kapasite verileri Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. 9 farklı tasarım için GEO5 taşıma gücü değerleri

Tablo 3. Tekil mini kazık nümerik ve S/N analiz sonuçları

Tasarım no	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rd (kN)	0.45	0.68	0.9	0.6	0.9	1.21	0.75	1.13	1.51
S/N (L)	-6.936	-3.350	-0.915	-4.437	-0.915	1.656	-2.499	1.062	3.580
S/N(S)	6.936	3.350	0.915	4.437	0.915	-1.656	2.499	-1.062	-3.580

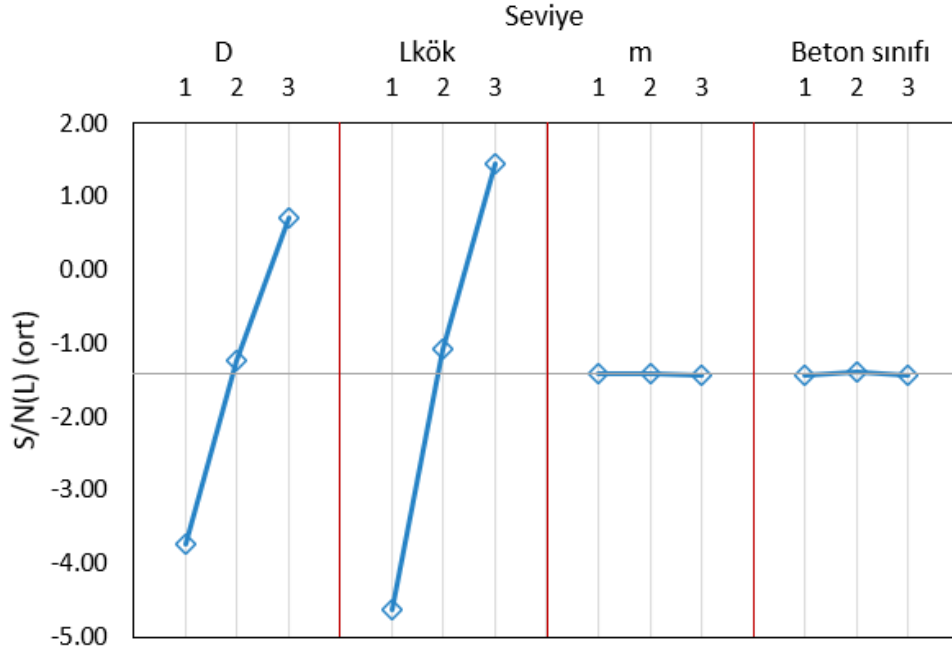
Tablo 3' te verilen (S/N(S)) ve (S/N(L)) oranlarının değerine göre her parametre ve seviyesi için belirlenen ortalama S/N oranları (S/N(ort)) en büyük en iyi ve en küçük en iyi durumları için taşıma gücü üzerine parametre etkisi (Rank) ile birlikte sırasıyla Tablo 4 ve 5' te verilmiştir (Minitab). (S/N(S)) ve (S/N(L)) durumlarının ortalama değerlerinin gösterimleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4' te verilmiştir.

Tablo 4. En büyük en iyi için S/N (ort) değerleri

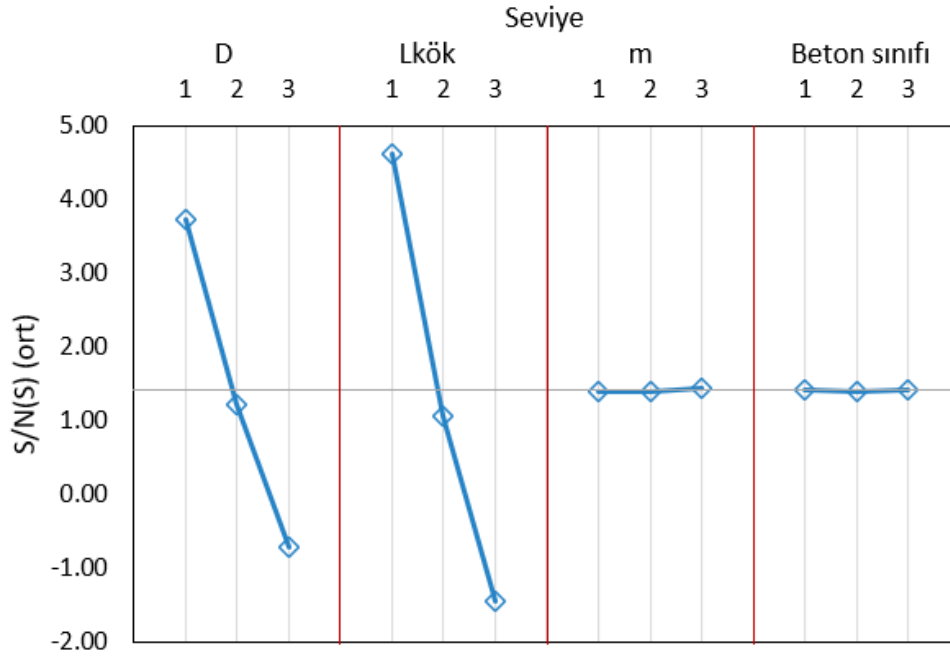
Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta	Rank
D (mm)	-3.734	-1.232	0.714	4.448	2
L _{kök} (m)	-4.624	-1.068	1.440	6.064	1
m (°)	-1.406	-1.402	-1.443	0.041	3
Beton sınıfı	-1.424	-1.398	-1.430	0.033	4

Tablo 5. En küçük en iyi için S/N (ort) değerleri

Parametre	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Delta	Rank
D: Kazık çapı (mm)	3.734	1.232	-0.714	4.448	2
L _{kök} : Kök boyu (m)	4.624	1.068	-1.440	6.064	1
m: Kazık eğimi (°)	1.406	1.402	1.443	0.041	3
Beton sınıfı	1.424	1.398	1.430	0.033	4



Şekil 3. S/N(L) durumu ortalama oranların parametre ve seviyelerine göre değişimleri

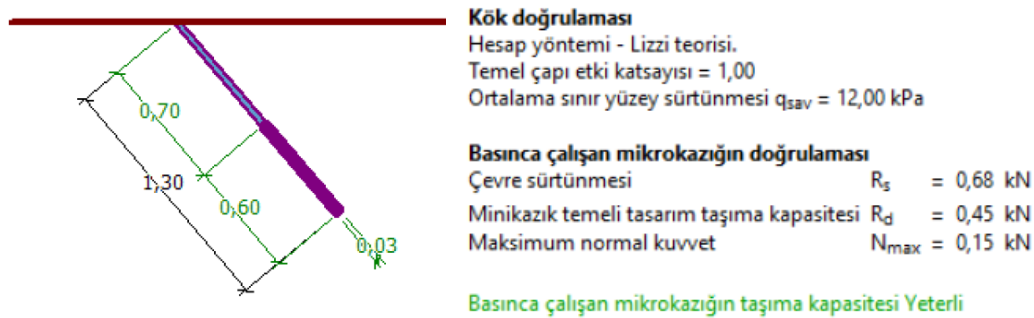


Şekil 4. S/N(S) durumu ortalama oranların parametre ve seviyelerine göre değişimleri

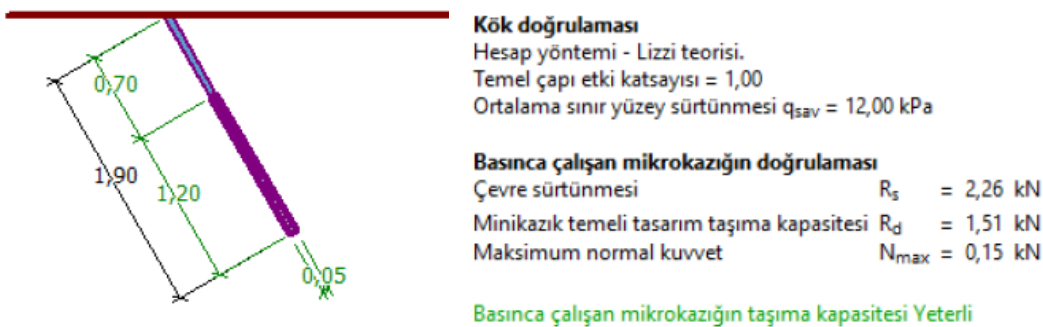
Şekil 2' de en büyük en iyi durumu için verilen ortalama S/N (L) (ort) değerleri incelendiği zaman tekil mini kazık taşıma gücüne en fazla etkili olan parametrenin kazık kök boyu ve en az etkili olan parametrenin beton sınıfı ve kazık eğimi olduğu görülmüştür. Ayrıca kazık çapı ve kök uzunluğu artıka taşıma gücü değeri artmaktadır. Şekil 3' te verilen en küçük en iyi durumu için verilen ortalama S/N (S) (ort) değerleri incelendiğinde en çok etkili ve en az etkili parametrelerin en büyük en iyi durumuna benzer olduğu görülmüştür. Kazık çapı ve kazık kök uzunluğunun küçük değerlerinde elde edilen taşıma gücü değerleri daha küçüktür.

Tekil mini kazık tasarımında taşıma gücünün maksimum olduğu durumda (S/N en büyük en iyi durumu) optimum parametre değerleri kazık çapı için 55mm, kök boyu için 1.20m, kazık eğimi için 30° ve beton sınıfı için C20 olurken, taşıma gücünün minimum olduğu durumda (S/N en küçük en iyi durumu) optimum parametre değerleri kazık çapı için 33mm, kök boyu için 0.60m, kazık eğimi için 40° ve beton sınıfı için C25 olduğu görülmüştür. Maksimum ve minimum taşıma gücü değerleri için Taguchi metoduna göre tahmin edilen optimum değerler sırasıyla 1.52 kN ve 0.48 kN olarak elde edilmiştir.

Taguchi metodu ile maksimum ve minimum taşıma gücü için tahmin edilen optimum tasarım parametrelerine GEO 5' te tekil mini kazık modelleri oluşturularak doğrulama analizleri gerçekleştirilmiştir. Maksimum ve minimum taşıma gücü için gerçekleştirilen GEO5 analiz sonuçlarının ekran görüntüsü Şekil 5 ve 6' da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 5. Maksimum taşıma gücü GEO 5 doğrulama analiz sonuçları



Şekil 6. Minimum taşıma gücü GEO 5 doğrulama analiz sonuçları

Şekil 5 ve 6' da verilen GEO5 tekil mini kazık analiz sonuçları Taguchi metodu ile tahmin edilen maksimum ve minimum taşıma gücü değerlerine birbirine oldukça yakındır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tekil mini kazık taşıma gücü hedef değerine kazık çapı, kök uzunluğu, kazık eğimi ve beton sınıfı parametrelerinin etkisi Taguchi metodu kullanılarak araştırılmıştır. Tekil mini kazık tasarımında GEO5 geoteknik analiz yazılımı kullanılarak ortogonal tasarım tablosunda yer alan farklı tasarım parametrelerine sahip tekil mini kazık tasarımları modellenerek numerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Taşıma gücü değerleri kullanılarak Taguchi analizlerinin gerçekleştirilmesinde Minitab istatistik yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen taşıma gücü değerlerine göre taşıma gücünün maksimum ve minimum olduğu durumlar için parametrelerin optimum değerleri tahmin edilmiş ve GEO5 yazılımı kullanılarak doğrulama analizleri yapılmıştır. Tahmin edilen ve doğrulama analizleri sonucu elde edilen değerleri kullanarak maksimum ve minimum taşıma gücü değerleri için bulunan mutlak rölatif hatalar oldukça küçük kabul edilebilir seviyedir. Sinyal/Gürültü analizleri sonucunda kazık kök boyu ve kazık çapı etkili parametre olarak elde edilirken kazık eğimi ve beton sınıfı daha az etkili parametre olmuştur. Gelecek çalışmalar için kazık eğimi ve beton sınıfı parametrelerinin taşıma gücüne etkisinin araştırılmasında parametrelerin seviyeleri değiştirilerek istatistik ve numerik analizleri tekrarlanabilir.

Bu sonuç, parametrik araştırması yapılacak olan hedef değerın sahip olduğu geniş kombinasyon kümesinde tüm kombinasyonu oluşturup sonuçları elde etmek yerine Taguchi metodu ile daha az sayıda deneme, zaman ve araştırma maliyeti ile elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, Taguchi metodunun tasarım kriterlerinin araştırılmasında güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları takibinde lisans öğrencilerinin Geoteknik Lisans Bitirme tez çalışması sonuçlarını içermektedir. Taguchi methodu ile yolumuzu kesiştiren ve 06 Ocak 2020 tarihinde aramızdan ayrılan Prof.Dr.Özcan Tan' a sonsuz teşekkürler.

KAYNAKLAR

- Baş, K. (2006), “Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler”, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dayıoğlu, M. (2010), “Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek:Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Demiröz, A., ve Karaduman, M. (2009), “Zemin İyileştirme Metotları”, Selcuk University Journal of Engineering Sciences, 8(3), 176-192.
- GEO5 Geoteknik analiz yazılımı, <https://www.finesoftware.eu/geotechnical-software/>
- Kate, G. K., Nayak, C. B. ve Thakare, S. B. (2021), “Optimization of sustainable high-strength–high-volume fly ash concrete with and without steel fiber using Taguchi method and multi-regression analysis”, Innov. Infrastruct. Solut. Vol: 6, 102.
- Korkmaz, E., Akçakal, Ö., Sevim, O., İkiz, S., ve Durgunoğlu, T. (2017)“Çekme Yüğü Altında Çalışan Mini Kazıklar–Vaka Analizleri ”, 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 557-564.

- Kurban, M. ve Babaarslan, O. (2020), “Tekstil Takviyeli Beton Üretiminde Kullanılmak Üzere Yüksek Performanslı Hibrit İplik Geliştirilmesi ve Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu” Tekstil ve Mühendis , 27 (120) , 292-298 .
- Lizzi, F. (1982), "The pali radice (root piles)". Symposium on soil and rockimprovement techniques including geotextiles, reinforced earth and modern pilingmethods, Bangkok, D-3.
- Minitab, İstatistik analiz yazılımı, <https://www.minitab.com/en-us/>
- Namlı, M.(2001), “Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri”, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Taguchi, G (1986), “Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes”, The Organization: Tokyo, Japan, 1986; ISBN 9283310837.
- Tan, O., Zaimoglu, A. S., Hınıslıoglu, S. ve Altun, S. (2005), “Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts”, Tunnelling and underground space technology, Vol: 20, 167-173.
- Terzi, N. U., Kiliç, H. ve Gültekin, S. (2010), “Yanal yüklü bir model kazığın kum ortamındaki davranışının deneysel ve nümerik yöntemlerle incelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol 15, 119-127.
- Uray, E. ve Tan, Ö. (2015), “Investigation of Design Criteria for the Type of Gabion Walls”, The International Conference on Civil and Environmental Engineering ICOCEE, Nvşehir, Türkiye, 1571–1581.
- Uray, E., Tan, Ö., Çarbaş, S., ve Erkan, İ. H. (2021), “Metaheuristics-based Pre-Design Guide for Cantilever Retaining Walls”, Teknik Dergi, Vol. 32, 10967-10993.
- Uray, E.; Carbas, S.; Geem, Z.W. ve Kim, S. (2022), “Parameters Optimization of Taguchi Method Integrated Hybrid Harmony Search Algorithm for Engineering Design Problems”, Mathematics, Vol: 10.
- Yildiz, A.R. ve Öztürk, F. (2010), “Hybrid Taguchi-Harmony Search Approach for Shape Optimization”, Studies in Computational Intelligence, Vol: 270, 89–98.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
S/N	Sinyal/Gürültü oranı	D	Kazık çapı
Ld, L _d (a) ^k ve L	Ortogonal dizi genel gösterimi	L _{kök}	Kazık kök uzunluğu
d	Toplam deney sayısı	m	Kazık eğimi
a	Parametre seviye sayısı	En10025:Fe360	Boru kesit çelik sınıfı
k	Parametre sayısı	E	Boru kesit elastisite modülü
Y	Hedef değer	f _y	Boru kesit akma dayanımı
Y _{ort}	Hedef değerlerin ortalaması	γ	Zemin birim hacim ağırlık
σ ²	Standart sapma	Ø _{ef}	Zemin içsel sürtünme açısı
n	Deney tekrar sayısı	R _d	Tekil mini kazık taşıma gücü