



EKSENEL YÜK UYGULANAN DERİN KARIŞTIRMA KOLONLARININ TAŞIMA GÜCÜ DEĞERLERİNİN KIYASLANMASI

¹Kaveh DEGHANIAN , ²Hakan Murat SOYSAL 

İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

¹kavehdeghanian@aydin.edu.tr, ²hakansoyisal@aydin.edu.tr

(Geliş/Received: 02.03.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 29.08.2022)

ÖZ: Bu çalışmada, aksenal yükleme testi yapılan beş farklı projeye ait derin karıştırma kolonlarının taşıma gücünün grafiksel ve analitik yöntemler ile belirlenmesi ve sonuçların birbiri ile kıyaslanması olarak amaçlanmıştır. Yükleme deneylerinin sonuçlarının yorumlanmasında literatürde sıkça kullanılan üç yöntem kullanılmıştır. Bunlar Decourt, De Beer ve Chin-Kondner yöntemleridir. Sahada oluşturulan derin karıştırma kolonlarına aksenal yükleme testleri uygulanmıştır. Her proje için daha önceden belirlenen proje yükü değeri baz alınarak yükleme gerçekleştirilmiştir. Yük artışı ile deformasyonlar arasındaki ilişkiden yola çıkılarak yapılan hesaplamalarda Decourt ve Chin-Kondner yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerlerinin beş proje için birbirine yakın sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. De Beer yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü değerleri diğer yöntemlere oranla nispeten daha düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin İyileştirme, Derin Karıştırma, Taşıma Gücü, Statik Aksenal Yükleme Testi

A Comparative Analysis on the Bearing Capacity of Axially Loaded Deep Mixing Columns

ABSTRACT: In this study, it is aimed to determine the bearing capacity of the deep mixing columns belonging to five different projects, for which axial loading tests were carried out, by graphical and analytical methods and the results have been compared with each other. Three methods which are frequently used in the literature, were used to interpret the results of the loading experiments. These methods are: The Decourt, De Beer and Chin-Kondner. Axial loading tests were applied to the deep mixing columns in the field. For each project, loading was carried out based on the previously determined project load value. In the calculations based on the relationship between the load increase and the deformations, it was found that the bearing capacity values calculated with the Decourt and Chin-Kondner methods gave close results for the five projects. The bearing capacity values calculated with the De Beer method were relatively lower than the other methods.

Keywords: Soil Improvement, Deep Soil Mixing, Bearing Capacity, Static Axial Loading Test

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışma kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinden derin karıştırma yöntemi ele alınmıştır. Derin karıştırma yöntemi; kireç, çimento veya her ikisini de içeren bağlayıcılarla ortası delik burgular veya kanatlı karıştırıcılar aracılığıyla zeminin, yerinde karıştırılmasıyla uygulanan derin bir iyileştirme yöntemidir.

Derin karıştırma kolonlarının aksenal yükler altındaki davranışları Uşak Yurt ve Sosyal Tesis Projesi, Gazi Anadolu Lisesi Eğitim Yerleşkesi, Elazığ Konut Projesi, Amasya Konut Projesi ve Amasya Hastane Projesi Kapsamındaki projelerde uygulanan statik yükleme deney sonuçları dikkate alınarak incelenmiştir. Söz konusu deney sonuçlarının seçilen üç farklı yöntemle yorumlamaları yapılmış olup, bu yorumlardan elde edilen taşıma gücü ile hesaplanan taşıma gücü değeri ve geoteknik raporda verilen değerler ile karşılaştırılarak hesapların doğruluk ve güvenilirlikleri irdelenmiştir.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Derin karıştırma kolonları 1960'lı yıllardan beri birçok ülkede sıklıkla kullanılan bir Zemin iyileştirme yöntemi olmakla beraber, 2006 yılından itibaren ülkemizde de tercih edilen bir zemin iyileştirme yöntemi olmuştur.

Derin karıştırma kolonları 1960'lı yılların başlarından beri Japonya'nın liderliğinde araştırılmış ve geliştirilmiştir. PHRI (Port and Harbour Research Institute) önderliğinde yapılan araştırmaların ilk aşamalarında kireç kolonları olarak geliştirilmiştir (Kaya, 2016).

Japonya'da geliştirilmeye ve uygulanmaya başlanan derin karıştırma kolonları 1970'li yılların sonlarından itibaren Japonya ile paralel olarak Çin'de de uygulanmaya başlanmış ve 1978 yılında hemen hemen çoğu yapıda uygulanabilir duruma getirilmiştir. Avrupa ülkelerinde ise, derin karıştırma yönteminin araştırmalarına İsveç ve Finlandiya ülkeleri liderlik etmiştir. 1967 yılında İsveç Geoteknik Enstitüsü tarafından İsveç Kireç Kolonları geliştirilmiştir. 1974 yılında Finlandiya'da zemin taşıma kapasitesi üzerinde kolon uzunluğunun etkisini araştırmak amacıyla 8 ve 6 m uzunluğunda kireç kolonları uygulanmıştır (Kaya, 2016).

1980 yılında Japonya'daki derin karıştırma yöntemindeki gelişmeler ve başarılı uygulamaları, Amerika'da da derin karıştırma yöntemi uygulamasına dikkatleri çekmiş, derin karıştırma kolonları deprem sırasında zeminde oluşabilecek sıvılaşmadan korunmak amacıyla bir projede uygulanmıştır. Daha sonrasında derin karıştırma yöntemi Amerika'da baraj yapılarında uygulanmıştır. Amerika derin karıştırma yöntemlerinin baraj yapılarındaki uygulamalarının geliştirilmesiyle ilgili öncülük etmiştir (Kaya, 2016).

Ohio'daki Lockington barajı Wyoming'de Jackson Baraj gölü ve Washington'daki Cushman dolu savak projelerinin yenilenme projelerinde ve sayısız birçok projede uygulanmıştır. Amerika'da günümüzde hala yaygın olarak derin karıştırma yönteminin sayısız uygulamaları mevcuttur. Derin karıştırma yöntemi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Baraj projesi kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinden kum sıkıştırma kazıkları, taş kolonlar, zemin sıkıştırma yöntemleri, jet grout kolonları ve derin karıştırma kolonları gibi derin zemin iyileştirme yöntemlerinin birçoğu dikkate alınmıştır. Fakat uygulama kolaylığı, sebebiyle derin karıştırma yönteminin bu proje için en uygunu olduğunu saptamışlardır. Bu proje kapsamında derin karıştırma yöntemi hem cut-off duvarı uygulamalarında, hem de temel zemini iyileştirmesi amacıyla uygulanmıştır (Kaya, 2016).

Ülkemizde derin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılan birçok konut, hastane ve eğitim projeleri yer almakta olup, bu makale kapsamında incelenen 5 proje örnek olarak gösterilebilir. Ancak Çanakkale Köprüsü gibi daha büyük projelerde de bu yöntem uygulanmıştır.

Rashid ve diğ. (2015) tarafından rijit ve esnek temeller için derin karıştırma yöntemi ile göçme davranışını araştırmıştır. Bu çalışmada, farklı uzunluk ve çapta kolonlar deneysel olarak analiz edilmiş ve daha sonra sayısal olarak modellenmiştir. Sonuç olarak sayısal ve deneysel modeller arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.

Liu ve Rowe (2015) geosistetik ile güçlendirilmiş derin karıştırma kolonlar üzerinde araştırma yapmış olup; geosentetiklerin viskos davranışının temellerin kayma dayanımını artırdığı sonucuna varılmıştır.

Nakao ve diğ. (2021) zemin iyileştirme yöntemlerinden birinin bilgisayarda üç boyutlu olarak modellendiği derin çimento stabilizasyon yöntemi (DCS yöntemi) ile çalkalanarak kazı yapma işlemi sunulmakta ve hedef zemin içindeki davranış ve zemine etkisi anlatılmaktadır. Çevreleyen zemin MPS-CAE analizi ile görselleştirilir. Bu işlemin amacı, hedef zemin içindeki koşulları doğrularken DCS yöntemiyle kazı ve çalkalamayı değerlendirmektir. DCS yöntemiyle kazı ve çalkalama sırasındaki koşulları deneysel ve görsel olarak doğrulamak amacıyla, çeşitli renkli topraklar kullanılarak DCS yöntemiyle bir kazı ve çalkalama modeli deneyi gerçekleştirilir.

Suksiripattanapong ve diğ. (2022) uçucu kül ve polimer ile güçlendirilmiş derin karıştırma kolonları üzerinde yaptıkları çalışmada; çimentonun artışı ile beraber tek eksenli kayma mukavemetinin artışı ortaya koymuş olup, %5 çimento- polimer karışımında, derin karıştırma kolonlar için gereken minimum tek-eksenli dayanımını sağladığı sonucuna vardılar.

Chompoorat ve diğ. (2022) sıradan Portland çimentosu (OPC) ve uçucu kül (FA) ile muamele edilmiş yumuşak Bangkok killerinin işlem sonrası mekanik özelliklerini ve büzülme ile çatlama özelliklerini araştırmaktır. 7 ve 28 günlük karışım küründen sonra serbest basınç dayanımı, elastisite modülü ve büzülme çatlama ölçülmüştür. Islak/kuru çevrimin karışımların dayanıklılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İşlem görmüş yumuşak killerin mikro yapıları, enerji dağılımlı x-ışını analizi (SEM/EDX) teknikleri ile taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Test sonuçları, stabilize edilmiş yumuşak killerin dayanım ve rijitlik iyileştirmelerinin OPC içeriği ile arttığını ancak FA içeriği ile azaldığını, artan FA içeriği ile numune büzülme derecesinin azaldığını göstermiştir. Akademik olarak derin karıştırma kolonlarının taşıma gücü tayinine yönelik hazırlanmış ve yayınlanmış tez çalışmaları mevcuttur. Erbeyoğlu (2019), Kaya (2016), Tuğçe (2016) tarafından hazırlanmış tezlerde, derin karıştırma ile zemin iyileştirme yapılmış çalışmalar mevcuttur.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

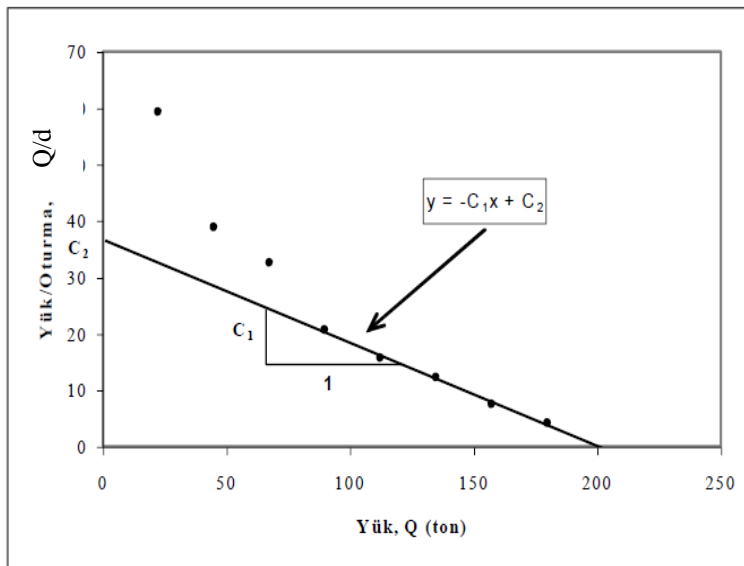
Derin karıştırma yöntemi birçok ülkede tercih edilen bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem diğer ülkelerde farklı şekilde isimlendirilmiş olsalar bile ana prensip ve tekniğin uygulanış şekli bakımından aynıdır.

Derin karıştırma kolonlarında derin temellerdeki şekli ile taşıma gücü hesapları çeşitli bilimsel araştırmalardaki kabul görmüş katsayı ve kabullerden faydalanılarak yapılmaktadır. Çalışmada derin karıştırma kolonlarının uygulandığı yapılarda aksel statik yüklemeye deneyleri tatbik edilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen beş farklı projede derin karıştırma kolonları üzerinde statik aksel basınç yüklemeye deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yüklemeye deneyi sonucunda oturma-zaman, yük-zaman ve yük-oturma grafikleri oluşturulur. Bu grafiklerden yük-oturma eğrisi ile çeşitli araştırmacıların yöntemleri kullanılarak nihai taşıma gücü belirlenerek yorumlanır.

Decourt Yöntemi (Decourt Method)

Her yük değeri kendisine karşılık gelen yer değiştirme değerine bölünerek elde edilen değerler ile yük/yer değiştirme-yük grafiği çizilir. Eğilim çizgisi doğrusunun y eksenini kesiştiği noktaya karşılık gelen yük değeri Decourt limit değeridir. Bu değer bir güvenlik sayısına bölünerek o kolona ait taşıma gücü değeri elde edilir.



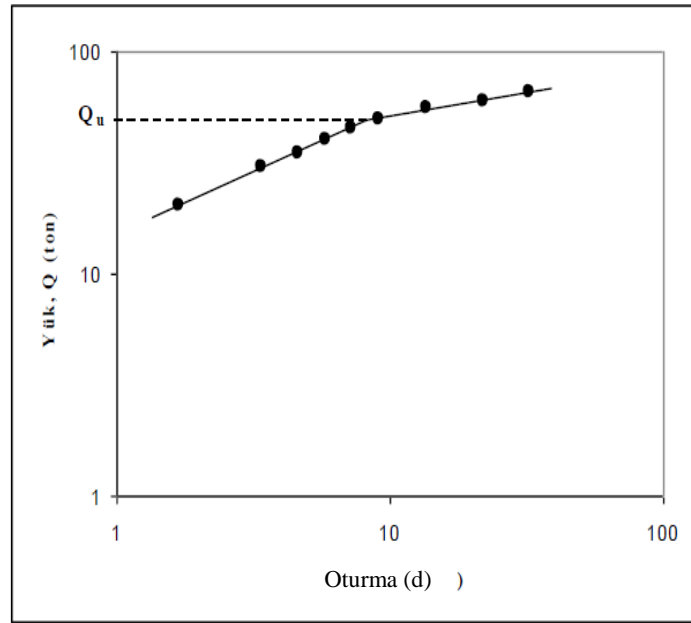
Şekil 1: Decourt Grafiği (Decourt, 1999)

Figure 1: Decourt Graphic (Decourt, 1999)

Eğilim çizgisinin düşey eksen kestiği değerin (C_2), doğrunun eğimine (C_1) oranı göçme yükünü (Q_u) vermektedir.

Debeer Yöntemi (De Beer Method)

De Beer yönteminde yük-oturma grafiği her iki eksen de logaritmik ölçekte çizilir. Grafikteki noktalar farklı eğimlerdeki doğrular etrafında yer alır. Bu doğruların kesiştiği nokta, yapılan deneyde kazığın uygulanan yüke olan reaksiyon verdiği noktadır. Ve bu noktaya karşılık gelen yük değeri göçme yüküdür.

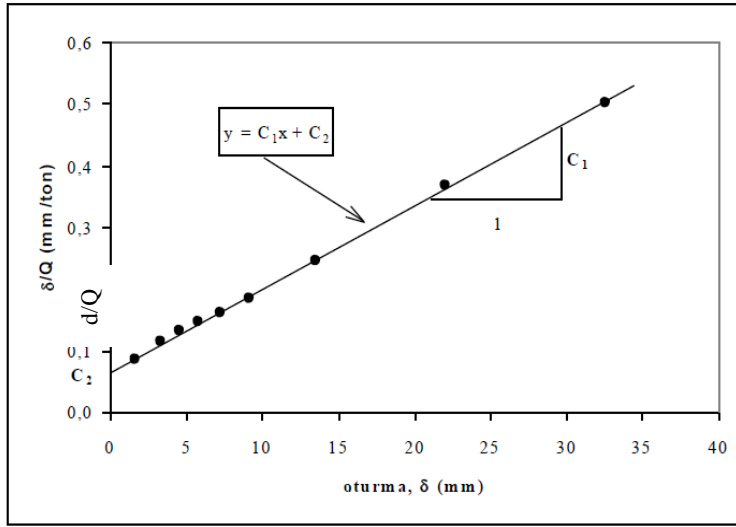


Şekil 2: De Beer Grafiği (De Beer, 1989)

Figure 2: De Beer Graphic (De Beer, 1989)

Chin Kondner Yöntemi (Chin Kondner Method)

Her yük değeri karşılık gelen yerdeğiştirme değerine bölünerek yerdeğiştirme/yük - yerdeğiştirme grafiği çizilir. Bu noktaların oluşturduğu doğrunun eğiminin tersi ($1/C_1$) Chin Kondner yönteminin göçme yükünü verir. $Q_u = \text{Göçme yükü} = 1/C_1$; Burada C_1 : Chin Kondner grafiğinde doğrunun eğim değeridir.



Şekil 3: Chin Kondner Grafiği (Chin, 1970)

Figure 3: Chin Kondner Graphic (Chin, 1970)

Grafiğin doğrusal kısmındaki noktaların bir kısmının doğru dışına çıkması yükleme deneyinde beklenmedik bir test olumsuzluğunun gidişatına işaretler. Deney ile eş zamanlı olarak Chin- Kondner grafiği oluşturularak deney sürecinin kontrol edilmesi, beklenmeyen bir durum ile karşılaşıldığında anında müdahale imkan vermesi bu yöntemin uygulanmasında avantaj olarak değerlendirilebilir. Bu yöntemin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için yük arttırım kademelerindeki süre aralarının aynı olması gerekir. Ayrıca oturmaların elastik kısmı geçmediği, kazıktaki plastik oturmaların tam olarak başlamadığı deneylerde doğru sonuçlara ulaşılamaz. Ayrıca, yük arttırım kademelerinin az olduğu deneylerde $\Delta/Q - \Delta$ grafiğini oluşturan nokta sayısının yeterli olmaması nedeniyle kullanılması uygun değildir. Chin - Kondner yönteminin diğer yöntemlere kıyasla çok daha büyük taşıma kapasiteleri verdiği bilinmektedir. Bu makale kapsamında uygulanan test nokta sayıları yeterli sayıdadır. Ayrıca deney sonuçları tek bir yöntem ile değerlendirilmemeli, mutlaka genel kabul görmüş diğer yöntemler ile kıyaslanarak yorum yapılmalıdır.

Çalışma kapsamında açıklanan her üç yöntem için seçilen proje yüklerinin zemin özellikleri incelendiğinde gerek hem kohezyonlu gerekse hem kohezyonsuz zeminler için uygulanabilir olması nedeni ile tek bir yöntem öne çıkmamaktadır. Ancak hesaplanan taşıma gücü değerleri arasında De Beer yönteminin diğer yöntemlere nazaran nispeten daha düşük değerler vermesinin nedeninin, yöntemin uygulanış şekline kaynaklandığı literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır (Dalkılıç, 2020)

BULGULAR (RESULTS)

Makale kapsamında derin karıştırma yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılan farklı projelere ait DKK'ların yükleme testi sonuçları incelenmiştir. Bu projelerin isimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: İncelenen Projelerin İsimleri ve Konumu

Table 1: Names and Location of Examined Projects

Proje Adı	Zemin Türü	Lokasyon
Uşak Yurt ve Sosyal Tesis Projeleri	Siltli Kil	Uşak
Gazi Anadolu Lisesi Eğitim Yerleşkesi	Kil	Ankara
Elazığ Konut Projesi	Siltli Kil	Elazığ
Amasya Konut Projesi	Siltli Kum	Amasya
Amasya Hastane Projesi	Siltli Kum	Amasya

Yurt Binası ve Sosyal Tesisler Zemin Bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir. Derin karıştırma kolonu

özellikleri Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 2: Yurt Binası ve Sosyal Tesisleri Zemin Değerleri (Özarslan, 2018)

Table 2: Idealised Soil Informations for Usak Dormitory and Social Buildings (Özarslan, 2018)

Yapı türü	Derinlik	Zemin Değerleri		
		Zemin Sınıfı	N ₆₀	Plastisite
Yurt Binası	0,00-7,00	Kohezyonlu (siltli kil)	10	<20
	7,00-30,00		20	
Sosyal Tesisler	0,00-7,00		10	
	7,00-15,00		20	

Çizelge 3: Yurt Binası ve Sosyal Tesislerin DKK Özellikleri (Can, 2019)

Table 3: Deep Mixing Columns Values for Uşak Dormitory /Social Project (Can, 2019)

Yapı türü	Kolon Boyu (m)	Kolon Karışımı Su/Çimento Oranı	Karışımın Dozajı (kg/m ³)	Kolon Çapı (m)	Kolon Çevresi (m)
Yurt Binası	29	0,80	450	1	3,14
Sosyal Tesisler	22	0,80	450	1	3,14

Çizelge 4 incelendiğinde; Uşak Yurt Projesine ait Yurt binası için Decourt yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü değeri, hesaplanan ve geoteknik raporda verilen taşıma gücü değerine çok yakın çıkmıştır.

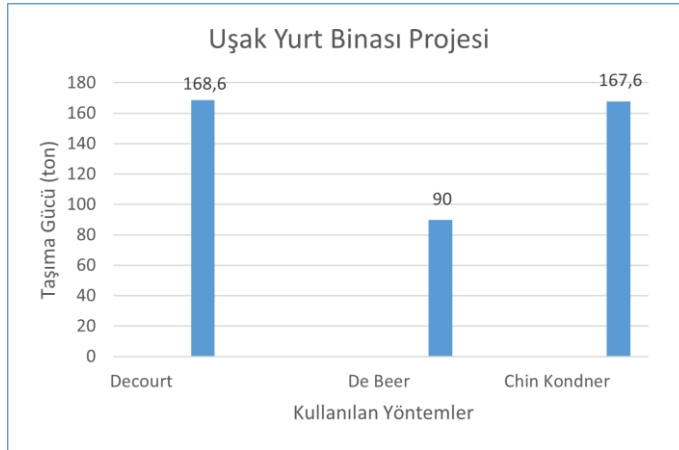
Çizelge 4: Uşak Yurt Binası İçin Taşıma Gücü Değerleri (Can, 2019)

Table 4: Bearing Capacity Values for Uşak Dormitory Project (Can, 2019)

Uşak Yurt Projesi Yurt Binası İçin Elde Edilen Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q _{gf}) (Decourt)	(Q _{gf}) (De Beer)	(Q _{gf}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q _h)	Geoteknik Rapor (Q _r) (Proje Yüğü)
168,6	90	167,6	166	165

Çizelge 4`te gösterildiği gibi, hesaplanan taşıma gücü ile proje yükündeki taşıma gücü arasındaki fark, hesaplanan yöntemin ampirik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu konu daha önce bazı literatürlerde tartışılmıştır (Örn. (Król ve Rybak, 2013).

Şekil 4’de Uşak yurt binası grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında Decourt ve Chin Kondner yöntemleri ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak De Beer yöntem ile hesaplanan değerler daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4 Uşak Yurt Binası taşıma gücü değerleri
Figure 4: Bearing Capacity Values for Uşak Dormitory Project

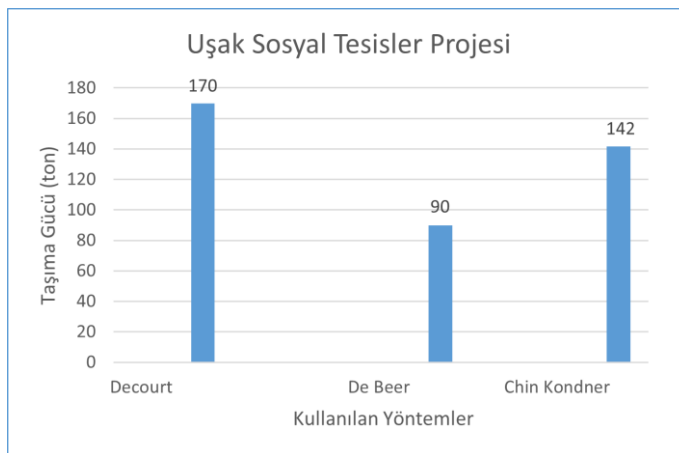
Çizelge 5 incelendiğinde; Uşak Sosyal tesis binasına ait Decourt yöntemi ile grafikten ölçülen taşıma gücü değeri, hesaplanan ve geoteknik rapor ile bulunan taşıma gücü değerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5: Uşak Sosyal Tesis Binası Taşıma Gücü Değerleri (Can, 2019)

Table 5: Bearing Capacity Values for Uşak Social Project (Can, 2019)

Uşak Sosyal Tesis Projesi Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q_{gf}) (Decourt)	(Q_{gf}) (De Beer)	(Q_{gf}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q_h)	Geoteknik Rapor (Q_r) (Proje Yüğü)
170	90	142	131	128

Şekil 5’de Uşak sosyal tesisler projesi için grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında Decourt ve Chin Kondner yöntemleri ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak De Beer yöntem ile hesaplanan değerler daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5: Uşak Sosyal Tesisler Projesi Taşıma gücü Değerleri (Can, 2019)

Figure 5: Bearing Capacity Values for Uşak Social Project (Can, 2019)

Gazi Anadolu Lisesi kampüs yerleşkesi sahasına ait zemin profili Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6: Gazi Anadolu Lisesi Projesine Ait Zemin Değerleri (Yaşar, 2019)**Table 6:** Idealised Soil Informations for Gazi High School Project (Yaşar, 2019)

Yapı Türü	Derinlik (m)	Zemin Değerleri				
		Zemin Türü	Kohezyon (kPa)	Zemin Sınıfı	Birim Hacim Ağırlık (kN/ m ³)	İçsel Sürt. Açısı ϕ
Gazi AL	0,00-2,00	Dolgu	0	-	18	9
	2,00-9,50	Kahverengi Çakıllı Kil	30	CL (Düşük Plastisiteli kil)	18	-
	9,50-15,00	Ayrışmış Rezüdiel Marn	100	M (Silt)	18	-

Gazi Anadolu Lisesi yerleşkesindeki yapıya ait Derin karıştırma kolonunun (DKK) özellikleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7: Gazi Anadolu Lisesi Projesine Ait (DKK) özellikleri (Yardımcı, 2019)**Table 7:** Deep Mixing Columns Values for Gazi High School Project (Yardımcı, 2019)

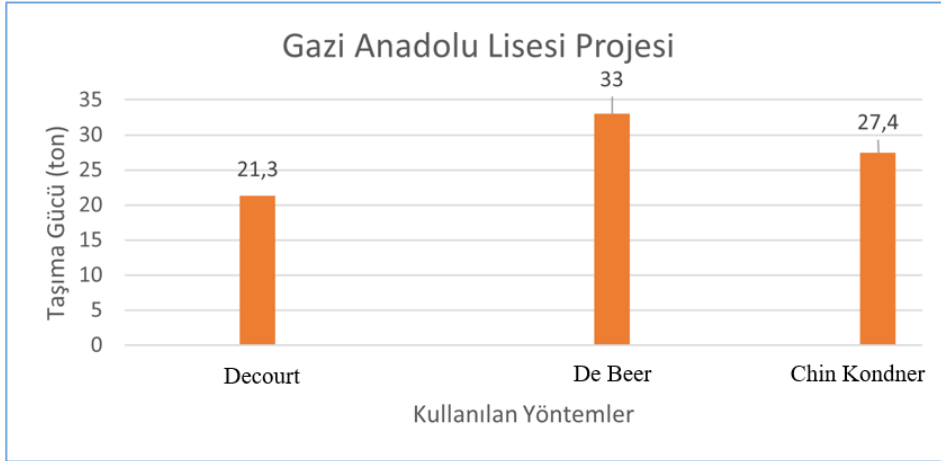
Kolon Çapı (m)	Kolon Boyu (m)	Kolon Karışımı Su/Çimento Oranı	Karışımın Dozajı (kg/m ³)	Kolon Kesit Alanı (m ²)	Kolon Çevresi (m)
0,80	10	1	400	0,5024	2,512

Gazi Anadolu Lisesi binaları statik eksenel basınç yükleme deneyi sonucu okunan oturma değerleri dikkate alınarak Decourt yöntemine uygun hesaplanan taşıma gücü değerleri Çizelge 8'de sunulmuştur. Çizelge 8 incelendiğinde; Gazi Anadolu Lisesi Projesine ait Decourt yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü değeri ile hesaplanan taşıma gücü değeri birbirine yakın değerler vermiştir.

Çizelge 8: Gazi Anadolu Lisesi Projesi Taşıma Gücü Değerleri**Table 8:** Bearing Capacity Values for Gazi High School Project

Gazi Anadolu Lisesi Projesi Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q_{gt}) (Decourt)	(Q_{gt}) (De Beer)	(Q_{gt}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q_n)	Geoteknik Rapor (Q_r) (Proje Yüğü)
21,3	33	27,4	25	33

Şekil 6'da Gazi Anadolu Lisesi projesi için grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında her üç yöntem ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Gazi Anadolu Lisesi Projesi Taşıma gücü Değerleri

Figure 6: Bearing Capacity Values for Uşak Social Project

Elazığ konut projesine ait zemin profili Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9: Elazığ Konut Projesine Ait Zemin Değerleri (Nemli, 2020)

Table 9: Idealised Soil Informations for Elazığ Building Project (Nemli, 2020)

Yapı Türü	Derinlik (m)	Zemin Değerleri			
		Tabaka	Zemin Türü	Kohezyon (kPa)	Zemin Sınıfı
Elazığ Konut	1,50-8,00	1.tabaka	Siltli kumlu kil	77	Kil
	8,00-10,50	2.tabaka	Siltli kumlu kil	231	
	10,50-11,50	3.tabaka	Çakıllı Kil	170	
				Birim Hacim Ağırlık (kN/ m ³)	
				19	

Elazığ konut projesi kapsamındaki yapıya ait Derin karıştırma kolonunun (DKK) özellikleri Çizelge 10 da verilmiştir.

Çizelge 10: Elazığ Konut Projesine Ait DKK Özellikleri (Yardımcı, 2019)

Table 10: Deep Mixing Columns Values for Elazığ Building Project (Yardımcı, 2019)

Kolon Çapı (m)	Kolon Boyu (m)	Kolon Karışımı Su/Çimento Oranı	Karışımın Dozajı (kg/m ³)	Kolon Kesit Alanı (m ²)	Kolon Çevresi (m)
0,80	11,5	1	450	0,5024	2,512

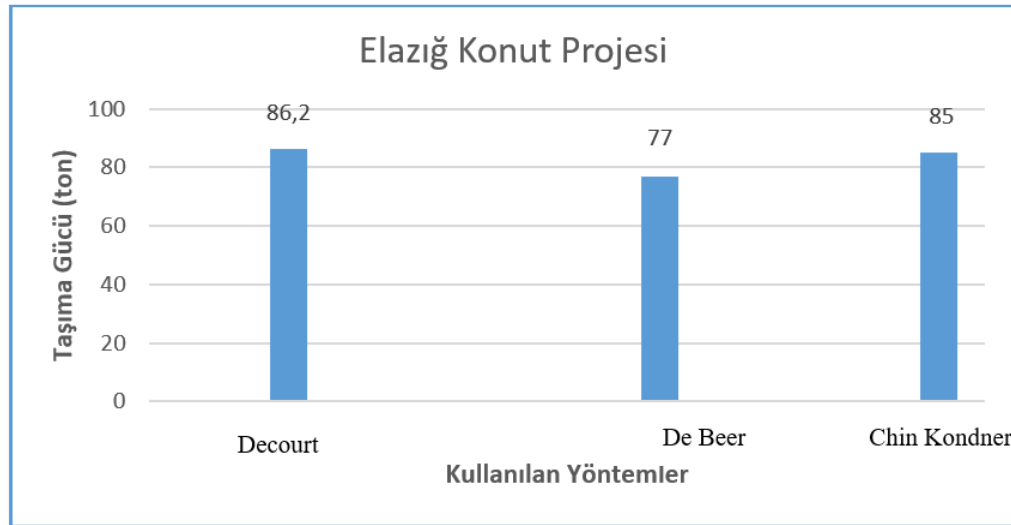
Elazığ Konut Projesi binaları statik eksenel basınç yükleme deneyi sonucu okunan oturma değerleri dikkate alınarak Decourt yöntemine uygun hesaplanan taşıma gücü değerleri Çizelge 11’de sunulmuştur.

Çizelge 11 incelendiğinde; Elazığ Konut Projesine ait Decourt yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü değeri ile hesaplanan ve geoteknik raporda verilen taşıma gücü değerleri birbirine yakın değerler olarak çıkmıştır.

Çizelge 11: Elazığ Konut Projesi İçin Decourt Yöntemi İle Elde Edilen Taşıma Gücü Değerleri*Table 11: Bearing Capacity Values for Elazığ Building Project*

Elazığ Konut Projesi Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q_{gf}) (Decourt)	(Q_{gf}) (De Beer)	(Q_{gf}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q_h)	Geoteknik Rapor (Q_r) (Proje Yüğü)
86,2	77	85	82,5	72

Şekil 7’de Elazığ konut projesi için grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında her üç yöntem ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

**Şekil 7: Elazığ Konut Projesi Taşıma gücü Değerleri***Figure 7: Bearing Capacity Values for Elazığ Building Project*

Amasya konut projesine yönelik jeolojik ve jeoteknik araştırma çalışmalarından oluşan idealize zemin profili Çizelge 12 de sunulmuştur.

Çizelge 12: Amasya Konut Projesine Ait Zemin Değerleri (Durmuş, 2019)*Table 12: Idealised Soil Informations for Amasya Building Project (Durmuş, 2019)*

Yapı Türü	Derinlik (m)	Tabaka	Zemin Değerleri		
			Zemin Türü	Birim Hacim Ağırlık	İçsel Sürtünme Açısı ϕ
Amasya Konut	4,00-12,00	1.tabaka	Siltli Kum	18	25
	12,00-15,00	2.tabaka	Siltli Kum	18	28
	15,00-21,00	3.tabaka	Siltli Kum	18	32

Amasya konut projesi kapsamındaki yapıya ait Derin karıştırma kolonunun (DKK) özellikleri Çizelge 13’de verilmiştir.

Çizelge 13 :Amasya Konut Projesine Ait DKK özellikleri (Can, 2020)*Table 23 : Deep Mixing Columns Values for Amasya Building Project (Can, 2020)*

Kolon Çapı (m)	Kolon Boyu (m)	Kolon Su/Çimento Oranı	Karışımın Dozajı (kg/m^3)	Kolon Kesit Alanı (m^2)	Kolon Çevresi (m)
1	17	1	400	0,785	3,14

Amasya Konut Projesi binaları statik eksenel basınç yükleme deneyi sonucu okunan oturma değerleri dikkate alınarak Decourt yöntemine uygun çizilen grafik Şekil 8’de gösterilmiştir.

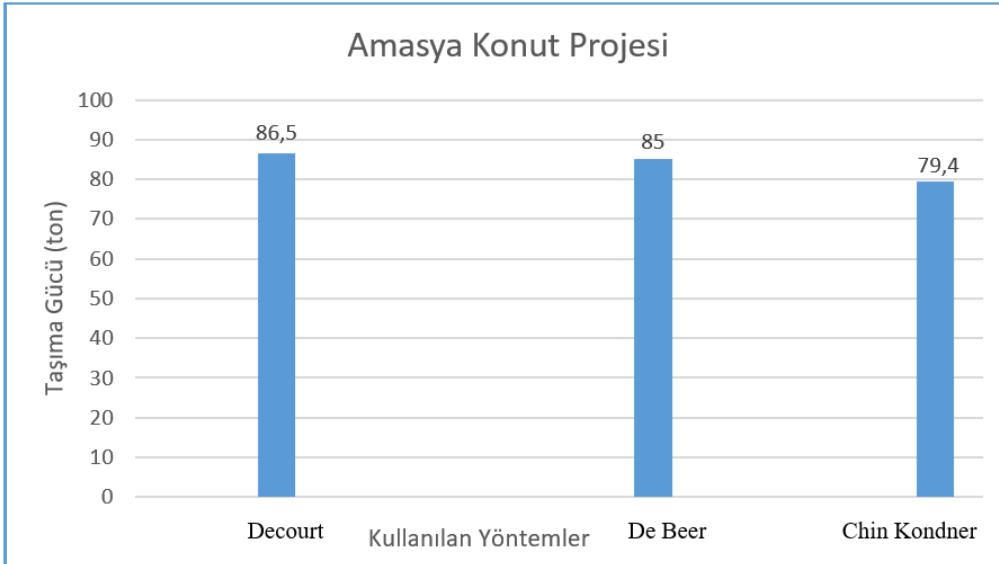
Çizelge 14 incelendiğinde; Amasya Konut Projesine ait Decourt yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü değeri ile hesaplanan taşıma gücü değeri birbirine yakın değerler olarak çıkmıştır.

Çizelge 14: Amasya Konut Projesi Taşıma Gücü Değerleri

Table 14: Bearing Capacity Values for Amasya Building Project

Amasya Konut Projesi Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q_{gf}) (Decourt)	(Q_{gf}) (De Beer)	(Q_{gf}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q_h)	Geoteknik Rapor (Q_r) (Proje Yüğü)
86,5	85	79,4	76	83,4

Şekil 8’de Amasya konut projesi için grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında her üç yöntem ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 8: Amasya Konut Projesi Taşıma gücü Değerleri

Figure 8: Bearing Capacity Values for Amasya Building Project

Amasya Hastane projesine ait zeminin mühendislik değerleri Çizelge 15’de verilmiştir.

Çizelge 15: Amasya Hastane Projesi Zemin Değerleri (Durmuş, 2019)

Table 15: Idealised Soil Informations for Amasya Hospital Project (Durmuş, 2019)

Yapı Türü	Derinlik (m)	Zemin Değerleri			
		Zemin	Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)
Hastane Binası	0,00-27,00	SM (Siltli kum)	17	34	25

Amasya Hastane projesi kapsamındaki yapıya ait Derin karıştırma kolonunun (DKK) özellikleri Çizelge 16 da verilmiştir.

Çizelge 36 : Amasya Hastane Projesine Ait DKK özellikleri (Can, 2020)*Table 46: Deep Mixing Columns Values for Amasya Hospital Project (Can, 2020)*

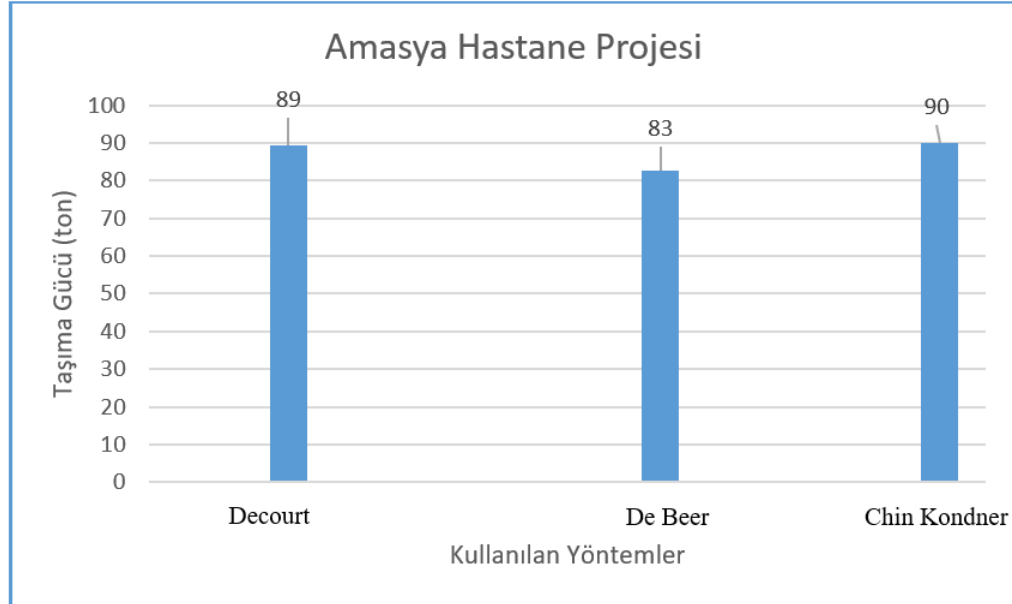
Kolon Çapı (m)	Kolon Boyu (m)	Kolon Su/Çimento Oranı	Karışımın Dozajı Kg/m ³	Kolon Kesit Alanı (m ²)	Kolon Çevresi (m)
0,80	15	1,0	300	0,5024	2,512

Amasya Hastane Projesi binaları statik eksenel basınç yükleme deneyi sonucu okunan oturma değerleri dikkate alınarak Decourt yöntemine uygun çizilen grafik Şekil 9'da gösterilmiştir. Çizelge 17 incelendiğinde; Amasya Hastane Projesine ait Decourt yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü değeri ile hesaplanan taşıma gücü değeri birbirine yakın değerler olarak çıkmıştır.

Çizelge 17: Amasya Hastane Projesi Taşıma Gücü Değerleri (Özyürek, 2015).*Table 17: Bearing Capacity Values for Amasya Hospital Project*

Amasya Hastane Projesi Taşıma Gücü Değerleri (ton)				
(Q _{gf}) (Decourt)	(Q _{gf}) (De Beer)	(Q _{gf}) (Chin Kondner)	Hesaplanan (Q _h)	Geoteknik Rapor (Q _r) (Proje Yüğü)
89,3	83	90	75,5	97

Şekil 9'da Amasya hastane projesi için grafik yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri çubuk diyagram olarak gösterilmiştir. Çubuk diyagram incelendiğinde; farklı yöntemlerle hesaplanan taşıma gücü değerleri açısından bakıldığında her üç yöntem ile hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

**Şekil 9:** Amasya Hastane Projesi Taşıma gücü Değerleri*Figure 9: Bearing Capacity Values for Amasya Hospital Project*

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Yapılan bu çalışmada zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan ve son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanan derin karıştırma yöntemi ile oluşturulan derin karıştırma kolonlarının (DKK) kolonlarının yük-oturma ilişkisi üzerinden taşıma gücü değerleri incelenmiştir. Makale kapsamında Uşak İli Yurt Projesi ve Sosyal Tesisler projesi, Gazi Anadolu Lisesi Eğitim Yerleşkesi Projesi, Elazığ Konut Projesi, Amasya

Konut Projesi ve Amasya Hastane Projelerine ait sahada uygulanan Derin Karıştırma Kolonu çalışma verileri irdelenmiştir. Belirtilen sahalarda imal edilen DKK kolonlarına tam ölçekli yükleme deneyleri tatbik edilmiş ve her bir yük değerine karşılık gelen oturma verileri grafiksel olarak çizildikten sonra, literatürde kullanılan kapasite tahmin yöntemleri kullanılarak kolonun taşıma gücü değeri bulunup sonuçlar değerlendirilmiştir. Eksenel yükleme deneyleri tüm projelerde test yöntemi gereği hesaplanan yükün %25-50-75 ve % 100 ü ne karşılık gelecek şekilde uygulanmıştır. Uygulamada seçilen yöntemler ile göçme yükü belirlemek için grafik üzerinde uygulama biçimi açısından herhangi harici bir işlem yapılmamaktadır, bu nedenle bulunan değerler analitik hesaplamalar ile elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edilmesine neden olmuştur. Uşak yurt projesi için Decourt ve Chin Kondner yöntemleri ile hesaplanan taşıma gücü değerleri birbirine yakın değerler vermiş olmakla beraber, en yüksek taşıma gücü değeri 168,6 ton ile Decourt yöntemine aittir. Gazi Anadolu Lisesi Eğitim Yerleşkesi projesi her üç yöntem içinde en yüksek taşıma gücü değeri 33 ton ile De Beer yöntemi vermiştir. Elazığ konut projesi için her üç yöntem içinde tahmin edilen taşıma gücü değerleri birbirine yakın olup, en yüksek taşıma gücü değeri 86,2 ton ile Decourt yöntemine aittir. Amasya konut projesi için her üç yöntem içinde bulunan taşıma gücü değerleri birbirine yakın olup, en yüksek taşıma gücü değeri 86,5 ton ile Decourt yöntemi vermiştir. Amasya Hastane projesi her üç yöntem içinde bulunan değerler birbirine çok yakın olup, en yüksek taşıma gücü değeri 90 ton ile Chin Kondner yöntemi vermiştir. Bu yöntemlerden elde edilen göçme yükü değerlerine bakıldığında şunlar söylenebilir; uygulanan yöntemlerin içinden en büyük göçme yüklerini genelde Chin Kondner ve Decourt yöntemleri, en küçüklerini ise De Beer yöntemleri vermektedir. Beş farklı proje arasında Decourt ve Chin Kondner yöntemi ile grafikten okunan taşıma gücü ile hesaplanan taşıma gücü değerleri arasındaki yakınlık nedeni ile başarılı bir tahmin ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Debeer yöntemi ile uşak yurt ve sosyal tesisler projeleri için grafiksel olarak bulunan DKK kolon taşıma gücü değeri diğer yöntemlere oranla düşük çıkmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, derin karıştırma kolonlarının taşıma gücü hesap tasarımında geleneksel yöntemler ile yapılan analizlerin yanı sıra saha deneyleri sonucu elde edilen verilerin Decourt Yöntemi, De Beer Yöntemi ve Chin Kondner Yöntemleri ile sonuçların karşılaştırılması olarak detaylı bir şekilde irdelenmesi başarılı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Bir başka çalışmada De beer yöntemi diğer geleneksel yöntemlerle birlikte değerlendirilmiş ve De beer yöntemi taşıma gücü değerleri ve istatistiki veriler, bu yöntemin diğer yöntemler arasında daha düşük sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Dalkılıç, 2020).

Sahada taşıma gücü tayinini belirlemek fiziksel ve ekonomik olarak güç olabilmektedir. Bu yöntemlerin fiziksel olarak uygulanmasının zor olduğu projelerde, seçilen bu ampirik yöntemler sahaya çalışmalara rehber olması açısından ışık tutabilmektedir. Bazı durumlarda sahada deneysel olarak uygulanabilen projeler olabilirken ampirik yöntemler pratikliği ve sonuç elde edilmesi açısından mühendisler için yardımcı olabilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Can, A., 2019, Şubat, Uşak İli Yurt Binası ve Sosyal Tesis Yapım İşine Ait Derin Karıştırma Kolonu Yükleme Testi Raporu, İksa Mühendislik A.Ş.
- Can, A., 2020, Temmuz Amasya Merkez Hastane Projesi Derin Karıştırma Kolonu Yükleme Testi Raporu, İksa Mühendislik A.Ş.
- Chin, F. K., 1970, "Estimation of Pile Not Carried to Failure", *Proceedings 2nd Souteast Asian Conference on Soil Engineering*, Singapore, ss. 81-90.
- Chompoorat, T., Thepumong, T., Khamplo, A., Likitlersuang, S., 2022, "Improving mechanical properties and shrinkage cracking characteristics of soft clay in deep soil mixing", *Construction and Building Materials*, Cilt 316.
- Dalkılıç, B., 2020, *Göçme Durumuna Ulaşmamış Kazık Yükleme Deneylerinde Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- De Beer, E. E., Wallays, M., 1989, "Franki Piles with Over expanded Bases", *La Technique des Travaux*, Sayı 333, ss. 48.

- Decourt, L., 1999, "Behaviour of Foundations Under Working Load Conditions", *Proc. of the 11th Pan-American Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Dolguassu, Brasil, Cilt 4, ss. 453-488.
- Durmuş, S., 2019, Haziran, Amasya Merkez Konut İnşaatı Projesi Zemin ve Temel Etüd Veri Raporu, İksa Mühendislik A.Ş.
- Erbeyoğlu, E., 2019, *Derin Zemin Karıştırma Yöntemi İle İyileştirme Yapılan Zeminlerde Taşıma Gücü Dağılımının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
- Kaya, Z., 2016, *Derin Karıştırma Kolonlarının Ölçülen ve Hesaplanan Kapasitelerinin Tam Ölçekli Yükleme Deneyleri İle İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Król, M., Rybak, J., 2013, "Accuracy of extrapolation methods for non-failed static load tests", *Vplyv vody na geotechnické konštrukcie*, 03.- 04. júna 2013, Bratislava, Slovakia: ss. 285-294.
- Liu, K-W., Rowe R. K., 2015, "Numerical study of the effects of geosynthetic reinforcement viscosity on behaviour of embankments supported by deep-mixing-method columns", *Geotextiles and Geomembranes*, Cilt 43, ss. 567-578.
- Nakao, K., Inazumi, S., Takaue, T., Tanaka, S., Shinoi, T., 2021, "Visual evaluation of relative deep mixing method type of ground-improvement method", *Results in Engineering*, Cilt 10.
- Nemli, S., 2020, Mart, Elazığ Merkez İlçesi Konut İnşaatı Projesi Geoteknik Değerlendirme Hesap Raporu, İksa Mühendislik A.Ş.
- Özarslan, M., 2018, Ekim Uşak İli Kaşbelen Mahallesi Yurt Binası ve Sosyal Tesis Yapım İşine Ait revize Geoteknik Rapor ve Zemin İyileştirme Projesi, İksa Mühendislik A.Ş.
- Özyürek, Y. E., 2015, Aralık Amasya Merkez Hastane Projesi Geoteknik Tasarım Raporu. İksa Müh. A.Ş.
- Rashid, A. S. A., Black, J. A., Kueh, A. B. H., Noor, N. M., 2015, "Behaviour of weak soils reinforced with soil cement columns formed by the deep mixing method: Rigid and flexible footings", *Measurement*, Cilt 68, ss. 262-279.
- Suksiripattanapong, C., Sakdinakorn, R., Tiyasangthong, S., Wonglakorn, N., Phetchuay, C., Tabyang, W., 2022, "Properties of soft Bangkok clay stabilized with cement and fly ash geopolymer for deep mixing application", *Case Studies in Construction Materials*, Cilt 16.
- Tuğçe, F., 2016, *Derin Karıştırma Yönteminde İyileştirme Seviyesini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Yardımcı, Z., 2019, Aralık Gazi Anadolu Lisesi Projesi Derin Karıştırma Kolonu Yükleme Testi Raporu. İksa Mühendislik A.Ş.
- Yardımcı, Z., 2020, Temmuz, Elazığ Merkez İlçesi Konut İnşaatı Projesi Derin Karıştırma Kolonu Yükleme Testi Raporu. İksa Mühendislik A.Ş.
- Yardımcı, Z., 2020, Ağustos, Amasya Merkez Konut İnşaatı Projesi Derin Karıştırma Kolonu Yükleme Testi Raporu. İksa Mühendislik A.Ş.
- Yaşar, Y., 2019, Ekim, Gazi Anadolu Lisesi Projesi Geoteknik Değerlendirme Raporu. İksa Mühendislik A.Ş.