



Mehmet Hayrullah Akyıldız, Ergün Akbaş
Dicle University, Diyarbakır-Turkey
hayrullah.akyildiz@dicle.edu.tr; ergunakbas@gmail.com

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2020.15.4.1A0461	
ORCID ID	0000-0001-7239-3518	---
CORRESPONDING AUTHOR	Mehmet Hayrullah Akyıldız	

BASİT VE ÇOKLU REGRESYON ANALİZLERİ İLE KOMPAKSİYON PARAMETRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ VE F TESTİ İLE ANLAMLILIĞININ İNCELENMESİ

ÖZ

Kompaksiyon, nemli zeminin tabakalar halinde serilmesi, vibrasyon uygulayarak silindirlenmesi gibi işlemlerle sıkıştırılmasıdır. Kompaksiyon, gerek yol dolgularının gerek dolgu barajların sıklık kontrollerinin yapılması gerekse de diğer önemli mühendislik projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla kompaksiyon parametrelerinin doğru olarak tespit edilmesi önem arz etmektedir. Şantiyelerde yeterli laboratuvar ekipmanının olmayışı ve işin bitiş süresinin kısıtlı olması, korelasyon denklemlerinin önemini arttırmıştır. Yeterli veri bulunması ve tolere edilebilecek güvenlik sınırları içerisinde sonuçlar elde edildiği takdirde, kompaksiyon parametrelerinin tahmininde istatistiğin kullanılması uygun görülmektedir. Bu durum hem ekonomik hem de zaman açısından bir kazanım sağlamaktadır. Çalışmada Adıyaman Balkar, Çelik ve Pınaryayla Göletlerinin zemin indeks özelliklerinin basit ve çoklu regresyon analizlerine tabi tutulmasıyla kompaksiyon parametreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Önce göletlere ait zeminlerin verileri kullanılmış, ardından elek analizi neticesinde içinde sadece kil ve silt muhteva eden ince daneli zeminlerin indeks özellikleri değerlendirilmiş ve kompaksiyon parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Mevcut verilerin istatistik olarak analizinin yapıldığı Eview programı yardımıyla basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmış, elde edilen modellerin istatistiksel olarak anlamlılığı F testi yapılarak incelenmiştir. Özellikle içeriğinde kum ve çakıl malzeme ihtiva etmeyen numunelere ait verilerin kullanılmasıyla diğer numune verilerine nazaran daha yüksek korelasyonların elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompaksiyon, Regresyon, Zemin, F Testi, Vibrasyon

ESTIMATING COMPACT PARAMETERS WITH SIMPLE AND MULTIPLE REGRESSION ANALYZES AND ANALYSIS OF THE MEANING WITH THE F TEST

ABSTRACT

Compaction is the compaction of the moist soil by laying it in layers, rolling it by applying vibration. Compaction is widely used both for the frequency control of road embankments and embankment dams and in other important engineering projects. Therefore, it is important to determine the compaction parameters correctly. The lack of sufficient laboratory equipment at the construction sites and the limited deadline of work increased the importance of correlation equations. If there are sufficient data and results are obtained within tolerable safety limits, it is considered appropriate to use statistics in estimation of compaction parameters. This situation provides a gain both in terms of economy and time. In the study, the compaction parameters were tried to be estimated by subjecting the soil index properties of Adıyaman Balkar, Çelik and Pınaryayla Ponds to simple and multiple regression analyzes. First, the data of the soils belonging to the ponds were used, then, as a result of the sieve analysis, the index properties of fine-grained soils containing only clay and silt were evaluated and compaction parameters were tried to be determined. Simple and multiple regression analyzes were made with the help of the Eview program, where the statistical analysis of the existing data was made, and the statistical significance of the obtained models was examined by performing the F test. It was determined that higher correlations were obtained compared to other sample data, especially by using the data of samples that do not contain sand and gravel material.

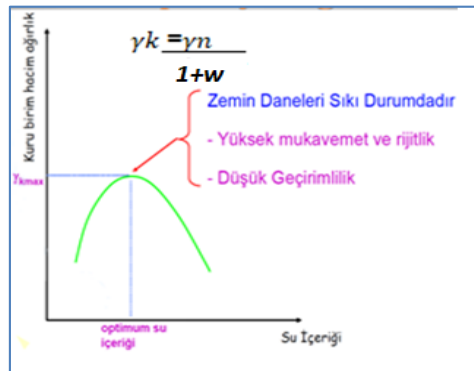
Keywords: Compaction, Regression, Ground, F Test, Vibration

How to Cite:

Akyıldız, M.H. ve Akbaş, E., (2020). Basit ve Çoklu Regresyon Analizleri İle Kompaksiyon Parametrelerinin Tahmin Edilmesi ve F Testi İle Anlamlılığının İncelenmesi, Engineering Sciences (NWSAENS), 15(4):186-195, DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.4.1A0461.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

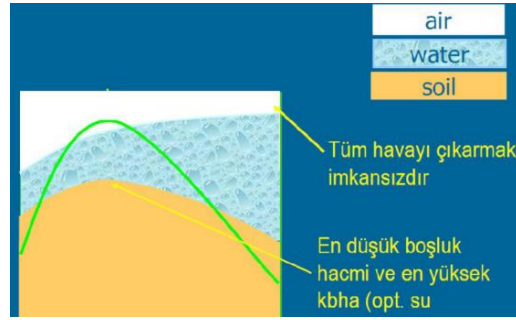
Kompaksiyon, zemin yoğunluğunun artırılmasını amaçlayan ve yaygın olarak kullanılan yüzeysel zemin iyileştirme yöntemidir. Zayıf zeminlere sahip olan karayolu, baraj, istinat duvarları, hava alanları, otoyollar gibi pek çok mühendislik uygulamasında zeminlerin sıkıştırılarak birim ağırlıklarının yükseltilmesi gerekmektedir. Kompaksiyon, toprak zeminin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için mekanik bazı araçlar kullanılarak zeminin bünyesindeki su ve tane hacmi sabit iken, havanın dışarı atılması olarak tanımlanmaktadır. Belirli bir sıkıştırma yöntemi ve enerjisi seçilerek bir zeminin kurudan başlayarak birçok su muhtevasında sıkıştırılması durumunda birim hacim ağırlığının yükseldiği izlenmektedir. Doğal olarak bu artış zemin doygunluğa eriştiğinde durmaktadır. Miller, otoyol dolguları üzerinde yaptığı ölçüme dayalı araştırmalara göre, dolguların kullanım ömrü boyunca su içeriğinin arttığını tespit etmiş ve dolgunun alt tarafında meydana gelen ıslanmanın, zemin tabakalarında farklı oturmalarla neden olabildiğini gözlemlemiştir [16]. Bu amaçla, dolgunun üstten ıslanması konusunda, üç farklı zemin üzerine (siltli kum, düşük plastisiteli kil ve yüksek plastisiteli kil), 200 kPa düşey gerilme uygulayarak tek boyutlu konsolidasyon deneyleri yapmış ve wopt'nın kuru tarafında kompakte edilen killerin belli bir zaman geçtikten sonra ani bir değişim gösterdiğini, bu zaman aralığının yüksek plastisiteli killer için 100 dk, düşük plastisiteli killer için 10 dk olduğunu ve genel itibariyle 100-1000 dk arasında beklenilmesi gerektiğini savunmuştur. Islanma etkisinin dolgu zemin için yüksek tehdit oluşturduğunu ve dolguların tasarımında oturmalar tahmin edilirken, su içeriği ve rölatif kompaksiyon (RK) etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtmiştir. Genel olarak kompakte edilerek inşa edilen dolguların şişme ve oturmasına etki eden faktörleri incelemek için yapılan araştırmalar, düşük plastisiteli zeminler (CL) üzerinde ve standart kompaksiyon enerjisi ile optimum su muhtevasının kuru tarafında ve optimumun az ıslak tarafında (+%2) hazırlanan numuneler üzerinde yapılmıştır. Su muhtevalarında, zeminde su daha yüksek özgül ağırlıkta danelerin yerini aldığından, birim hacim ağırlık düşer (Şekil 1).



Şekil 1. Kompaksiyon eğrisi
(Figure 1. Compaction curve)

Uygun sıkışmanın sağlanabilmesi için zemindeki su muhtevasının hayati önemi vardır. Zeminin içinde yeterli su miktarı bulunmadığı zaman daneler arası sürtünme azalmakta ve birbirlerine yanaşmaları zorlaşmaktadır. Su miktarı artıktıkça danelerin hareketi kolaylaşmakta, buna karşılık birbirine yaklaşması zorlaşmaktadır. Zeminlerin tamamen suya doygun olması, yani bütün boşlukların suyla dolu olması durumunda ise kompaksiyon mümkün değildir. Çünkü bu durumda uygulanan yükler altında boşluk suyunda basınç artışları meydana gelecek ve hidrostatik

basınç danelerin birbirine yaklaşmasına karşı koyacaktır. Ayrıca kompaksiyon deneyi ile gerekli tüm standartlar sağlansa dahi zemin içerisindeki hapsolmuş havanın tamamının dışarı atılması mümkün değildir (Şekil 2).



Şekil 2. Zemine su ilavesi durumu
(Figure 2. Addition of water to the floor)

Kompaksiyon ile zeminin titreşim ve yük etkisi altında hacim değiştirme, oturma ve deforme olabilirliliği azaltılır. Zeminin makaslama dayanımını dolayısıyla taşıma gücü artırılır. Zeminin boşluk oranı azaltılarak geçirimsizliği azaltılır. Ayrıca don etkisi, şişme, büzülme gibi etkilerden kaynaklanacak hacim değişimleri kontrol edilerek zeminlere daha kararlı bir yapı kazandırılır. Yanlış yapıldığı takdirde zeminde meydana gelecek çökmelerden dolayı ortaya çıkan yapı bozukluklarına ve gereksiz bakım ve onarım maliyetlerine neden olur.

Kompaksiyon deneyi yapılarak laboratuvarında zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenir. Arazide ise saha deneyleri (kum konisi, lastik balon, nükleer cihaz vs.) ile arazinin sıklık değeri kontrol edilir. Ancak laboratuvar şartlarının elverişsiz olduğu veya deneyleri şartnamesine göre yapacak yeterli zamanın olmadığı durumlarla karşılaşılabilir. Böyle durumlarda kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesinde istatistiksel yöntemlerin kullanılması tercih edilmektedir. Bu konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Kompaksiyon parametreleri ile kıvam limitleri, zemin tuzları ve diğer zemin bileşenleri arasında istatistiksel ilişkiler Dourdour ve Angers (1992) tarafından araştırılmıştır [8]. İnce daneli zeminler için geliştirilen korelasyonlarda, optimum su içeriği (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks}) ile zemin tipi, indeks özellikleri, dane birim hacim ağırlığı (γ_s) ve dane çapı dağılım parametreleri arasında ilişkiler geliştirilmiştir (Davidson ve Gardiner, 1949; Jeng ve Strohm 1976) [7 ve 12]. Sridharan ve Nagaraj (2005) ve Sivrikaya (2007) ince daneli zeminler için kompaksiyon deney sonuçlarını içeren kendilerine ait ve literatürdeki verileri kullanarak Optimum su içeriği (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks}) verilerini Likit Limit (w_L) ve Plastik Limit (w_P) ile ilişkilendiren ampirik formüller geliştirmişlerdir [22 ve 23]. Laboratuvar testlerinde veya alan sıkıştırma işleminde elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile sıkıştırma özellikleri teorisini açıklayan tipik nem-yoğunluk eğrisi (Hausmann, 1990) tarafından belirlenmiştir [10]. Proctor (1933), bir toprağın azami yoğunluğunu bir tayin olarak belirleme prosedürüne öncülük etmiştir [19]. Jumikis (1946) optimum su içeriği, likit limit ve plastisite indeksi arasında korelasyonlar geliştirmiştir [14]. Ring (1962) Attenberg limitleri arasındaki korelasyonlarda ortalama dane çapının ve granulometrik yüzdenin etkisini incelemiştir [20]. Johnson ve Salberg (1962) tarafından plastik limit ve likit limit değerlerini içeren bir abak yardımıyla standart kompaksiyon deneyi için yaklaşık optimum su içeriğini belirlemeye çalışmışlardır [13]. Kuru yoğunluk,

tane büyüklüğü dağılımı, parçacık şekli, su içeriği toprağın ne oranda sıkışabileceğini belirlemede etkili olan zemin özellikleridir (Rollings and Rollings, 1996; Holtz ve diğerleri, 2010) [11 ve 21]. Bowles (1979) yaptığı çalışmada iyi derecelenmiş zeminlerin iyi derecelenmemiş zeminlere göre daha iyi sıkıştığını belirtmiştir [4]. Al-Khafaji (1987) ince taneli zeminlerde Atterberg limit değerleri ile kil içeriğinin kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkisini araştırmıştır [1]. Ayrıca Al-Khafaji (1993) korelasyon denklemlerinde maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasının likit limit ve plastik limit verilerine bağlı olduğunu Irakta ki dört kesim zemin özelliklerini inceleyerek belirlemiş ve ABD deki korelasyon denklemleriyle karşılaştırılmıştır [2]. Böylece daha önceki korelasyon denklemlerini geliştirerek kompaksiyon parametrelerinin tahmininde pratik uygulamalar elde etmiştir. Bowles (1979), zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla, araziden alınan örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan elek analizi, kıvam limitleri, proktor, CBR deneyleri ve temin edinilen SPT deney sonuçlarından yararlanmıştır [4]. Pandian ve diğerleri (1997) likit limit ve plastik limit verilerini kullanarak bir dizi öngörülen tahmin eğrisi önermişler ve kompaksiyon parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır [18]. Ayrıca kompaksiyon eğrisindeki kuru ve nemli kısımlar için özel denklemler vermişlerdir. Blotz ve diğerleri (1998) standart ve modifiye proktor ile likit limit verilerini kullanarak kompaksiyon parametrelerinin tahmininde iki denklem önermişlerdir [3]. Sridharan ve Nagaraj (2005) kompaksiyon parametrelerinin belirlenmesinde sadece plastik limit verileri kullanarak iki adet ampirik denklem önermişlerdir [23]. Onların aksine Matteo (2009) ve Noor (2011) kompaksiyon parametrelerinin tahmininde plastik limit, plastisite indeksi ve zeminin özgül ağırlığına bağlı modeller geliştirmiştir [15 ve 17]. Günaydın (2009) Atterberg limitlerine bağlı olarak yapay sinir ağları geliştirmiş ve kompaksiyon parametrelerini belirlemeye çalışmıştır [9]. Yapılan bu çalışmaların değerlendirilmesi ile ince taneli zeminlerin Standart Proktor deneyinden elde edilen kompaksiyon parametrelerinin istatistiksel yaklaşımlarla belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Temel zeminlerine etkiyen tekil ve uniform yüklerin deformasyonlarının önceden belirlenmesi, zemin ortamında oluşturdukları gerilmelerin ve yer değiştirmelerin tahmin edilmesi konuyla yakından ilgili proje ekiplerine ve uygulamacılara avantaj sağlayacaktır. Zeminlerin karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı, gerçekçi gerilme-deformasyon analizleri yapılması ve bu sonuçların uygulama sürecine yansıtılması oldukça zordur. Bundan dolayı, günümüzde, hem güvenilirlik hem de tutarlılık göstermesi açısından bilgisayar programlarıyla bu gerilmelerin belirlenmesi hız ve önem kazanmaya başlamıştır [5]. İki değişken arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığı, değişkenlerde meydana gelen farkların birbirini etkileyip etkilemedikleri korelasyon analizi ile belirlenir. Bir kriter değişkenin bir veya daha fazla sayıda tahmin değişkenleri arasındaki ilişkiyi sayısal hale dönüştürmede regresyon analizi kullanılmaktadır. Regresyon analizindeki amaç her tahmin değişkeninin kriter değişkenindeki toplam değişmeye olan katkısının saptanması ve tahmin değişkenlerinin doğrusal kombinasyonunun değerinden hareketle kriter değerinin tahmin edilmesidir. Çalışmanın bu bölümünde sayısal modellemede kullanılan SSM parametrelerinin zemin davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için sayısal parametrik çalışmalar yapılarak deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır [6]. Zemin parametreleri farklı başlıklar altında incelenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen en önemli sonuçlardan biri de laboratuvar deneylerinden elde edilen permeabilite değerlerinin

parametrik olarak elde edilen değerlere oldukça yakın olmasıdır. Başka bir ifade ile kurulan sayısal model gerçek koşullardaki zemin koşullarını doğru temsil etmektedir [24]. Bu çalışma ile hem ekonomik gerekçelerle yeterli laboratuvar ekipmanının bulunmaması, teknik eleman eksikliği, kısıtlı zaman faktörü nedenleriyle gerekli deneylerin yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda yapılacak imalatlarda büyük önemi bulunan kompaksiyon parametrelerinin tespitinde, istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmış ve çeşitli modeller elde edilerek bu parametreler tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Bu çalışmada Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılmasına göre ince daneli olan zeminlerin Standart Proktor deneyinden elde edilen kompaksiyon parametreleri (w_{opt} ve γ_{kmaks}) ile birlikte aynı numune üzerinde gerçekleştirilen kıvam limit, granülometre ve hidrometre deneyi sonucu parametreleri ile zeminlerin indeks özellikleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada Adıyaman Balkar, Çelik ve Pınaryayla Göletlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Analizlerde ilk etapta Tablo 1 de bulunan verilerin tamamı kullanılmış, ikinci etapta ise 32-58 no arasında, muhtevasında kum ve çakıl bulundurmeyen zeminlerin verileri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve çeşitli korelasyonlar elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir bağımsız değişkenin plastisite indeksi, likit limit, plastik limit (I_p , w_L , w_P), bağımlı değişkenlerle optimum su içeriği, maksimum kuru birim hacim ağırlık (w_{opt} , γ_{kmaks}) ilişkisi, en küçük kareler metoduna göre Çoklu Lineer Regresyon analizi ile araştırılmış ve geliştirilmiştir.

$$f(w_{opt}, \gamma_{kmaks}) = A + BI_p + Cw_L + Dw_P$$

Burada, A , B , C , D regresyon katsayılarıdır.

Yapılan çalışmada basit ve çoklu regresyon analizleri yapılmış ve belli değerlerde korelasyon katsayıları elde edilmiştir. İlk olarak modellerdeki R değerlerine bakılmış olup, bu değerlerin modeli açıklama gücünün yeterli olması halinde modelin anlamlılığının sınındığı F testi yapılmıştır. F testi ile doğrusal regresyon modelinin en-küçük-kareler yöntemi ile yapılan katsayılar kestirimlerinden sonra, bu kestirim katsayılarının sıfıra eşit olmadıkları sınınmaktadır. Eğer "F-testi" sonucu katsayıların sıfıra eşit olduğu hipotezi reddedilemezse hesaplanan kestirim değerleri anlamsız olarak kabul edilmektedir.

F Testi normal dağılıma göre %1, %5 ve %10 düzeyinde sınınmaktadır. Bu test için hipotezler şunlardır.

H_0 : Model genel olarak anlamsız

H_1 : Model genel olarak anlamlı

Eğer Olasılık (F) değeri;

%10 (0.10)

<%5 (0.05)

%1 (0.01)

ise H_0 hipotezi reddedilir ve alternatif olan H_1 hipotezi kabul edilir. Bu durumda modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 1. Regresyon analizlerinde kullanılan zemin indeks özellikleri
(Table 1. Soil index properties used in regression analysis)

No	Numune Sınıfı	Standart Proktor (kN/m ³ (%))	Elek Analizi				Attenberg Limitleri		
			Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Çakıl (%)	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
1	ML	1.548	23	33	41	23	3	45	26
2	CL	1.457	28	59	13	23	5	47	25
3	CH	1.454	26	48	28	16	8	56	17
4	CL	1.492	23	60	22	18	-	21	21
5	CH	1.515	23	61	20	13	6	53	25
6	CH	1.399	30	40	12	11	37	62	24
7	MH	1.555	23	39	40	15	6	65	47
8	CL	1.505	27	48	9	14	29	56	23
9	CL	1.517	24	60	14	22	4	46	22
10	CH	1.563	21	42	17	28	13	51	22
11	CL	1.5	25	63	14	21	2	41	15
12	CH	1.413	29	63	29	6	2	63	30
13	CH	1.526	22.3	43	23	20	14	54	21
14	CH	1.491	24.4	34	29	31	6	57	27
15	CH	1.36	33	60	13	27	-	61	25
16	CL	1.549	23	48	18	27	7	48	22
17	CH	1.553	23	47	16	31	6	59	26
18	CH	1.507	21	60	27	12	1	54.1	24.8
19	CH	1.519	20.4	43	20	28	9	52.8	24.1
20	GC	1.839	17.9	15	52	26	7	37.1	22.8
21	GC	1.947	18.2	14	71	10	5	39.7	23.6
22	GC	1.957	17.9	9	69	15	7	37.5	23.3
23	CH	1.528	23.1	53	26	19	2	56.8	29.2
24	CL	1.649	18.9	39	23	31	7	43.2	23.5
25	CH	1.552	20.5	38	23	35	4	51.4	24.3
26	CH	1.521	21.4	47	33	18	2	57	25.3
27	CL	1.648	16.9	38	24	29	9	34.8	21.6
28	CL	1.675	17	49	33	14	4	35.5	21.9
29	SC	1.763	19.2	39	-	55	6	43.2	24.9
30	CL	1.688	20.1	64	13	17	6	45.4	24.4
31	SC	1.744	19.6	44	-	42	14	48.3	25.9
32	CL	1.659	20.5	79.3	20.7	-	-	37	22
33	CH	1.46	25.5	82.2	17.8	-	-	71	29
34	CL	1.633	19.4	73.7	26.3	-	-	47	25
35	ML	1.514	20.7	64.1	35.9	-	-	49	30
36	CL	1.644	21.2	76.6	23.4	-	-	46	21
37	CH	1.45	27.5	81.6	18.4	-	-	76	32
38	CL	1.536	24.2	71.3	28.7	-	-	46	22
39	CH	1.562	21.3	74.3	25.7	-	-	58	25
40	CH	1.472	24.2	73.6	26.4	-	-	70	26
41	CH	1.554	20.6	67.4	32.6	-	-	59	21
42	CH	1.571	21.4	70.7	29.3	-	-	56	25
43	CH	1.578	21.7	75.2	24.8	-	-	55	25
44	CL	1.598	21.2	63.6	36.4	-	-	47	25
45	CH	1.49	23	70	30	-	-	63	24
46	CH	1.544	23	66.4	33.6	-	-	61	26
47	CL	1.583	22.3	67.7	32.3	-	-	48	26
48	CH	1.575	22.5	70.1	29.9	-	-	55	28
49	MH	1.572	23	55.5	44.5	-	-	53	29
50	CH	1.575	21	74.1	25.9	-	-	59	27
51	CH	1.581	21.1	74.2	25.8	-	-	59	23
52	CH	1.58	20.3	70.8	29.2	-	-	56	29
53	CH	1.572	21.5	73.7	26.3	-	-	56	25
54	CH	1.534	24.2	80	20.8	-	-	68	23
55	MH	1.565	21.2	59.2	40.8	-	-	58	31
56	MH	1.522	24.2	52.1	47.9	-	-	72	42
57	CH	1.542	22	71	29	-	-	65	28
58	CH	1.537	21.4	67.2	32.8	-	-	66	30

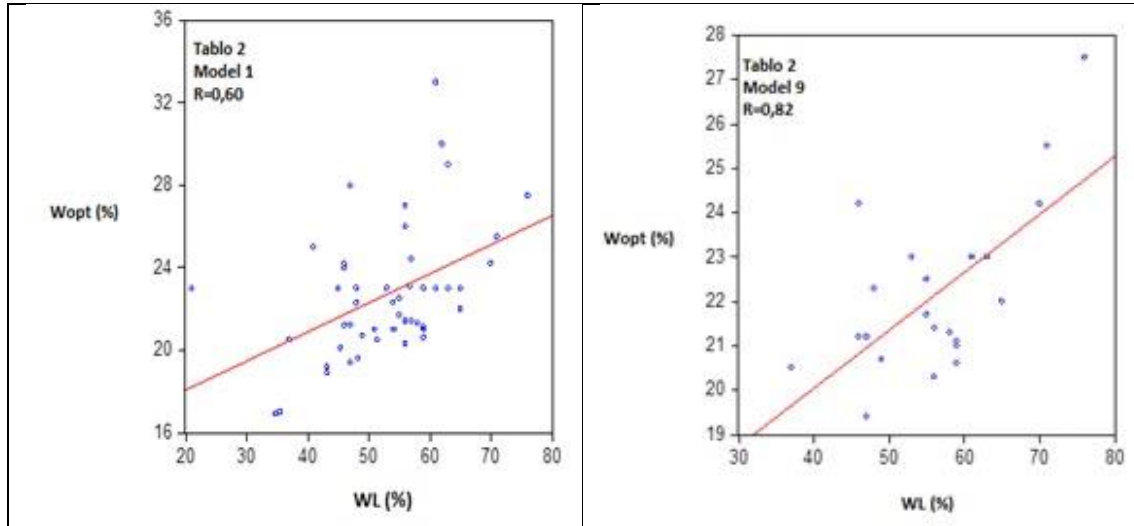
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Toplamda 58 adet numuneye ait veri kullanılmış ve 13 adet anlamlı model elde edilmiştir. Elde edilen modellerden istatistiksel olarak anlamlı olanlar Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’deki ilk 4 model Tablo 1’deki 58 adet verinin regresyon analizi yapılarak elde edilmiş, 5 ile 13 no arasındaki modeller ise Tablo 1’deki 32-58 no arasındaki içerisinde kum ve çakıl bulundurmayan numunelerin verilerinin analizlerinden elde edilmiştir.

Tablo 2. Çoklu regresyon analizlerinden elde edilen korelasyon denklemleri
(Table 2. Correlation equations obtained from multiple regression analysis)

Model No	Korelasyon Denklemi	R	İstatistik (F)
1	$W_{opt}=15.25459+0.141091*W_L$	0.60	0.001105
2	$W_{opt}=18.06004+0.167825*I_P$	0.62	0.000665
3	$W_{opt}=16.80867+0.166699*W_L-0.115677*W_P$	0.63	0.002768
4	$W_{opt}=16.80867+0.051021*W_L+0.115677*I_P$	0.63	0.002768
5	$\gamma_{kmaks}=-1166.717+26.22500*W_L$	0.54	0.053265
6	$\gamma_{kmaks}=-1270.070+60.63509*W_P$	0.56	0.038657
7	$\gamma_{kmaks}=-1728.934+16.24257*W_L+42.71559*W_P$	0.60	0.068395
8	$\gamma_{kmaks}=-1728.934+58.95816*W_L-42.71559*I_P$	0.60	0.068395
9	$W_{opt}=14.82908+0.130550*W_L$	0.82	0.001031
10	$W_{opt}=15.16641+0.271019*W_P$	0.58	0.045968
11	$W_{opt}=18.17402+0.131394*I_P$	0.64	0.004605
12	$W_{opt}=13.32265+0.116508*W_L+0.088906*W_P$	0.74	0.004131
13	$W_{opt}=13.32265+0.205413*W_L-0.088906*I_P$	0.74	0.004131

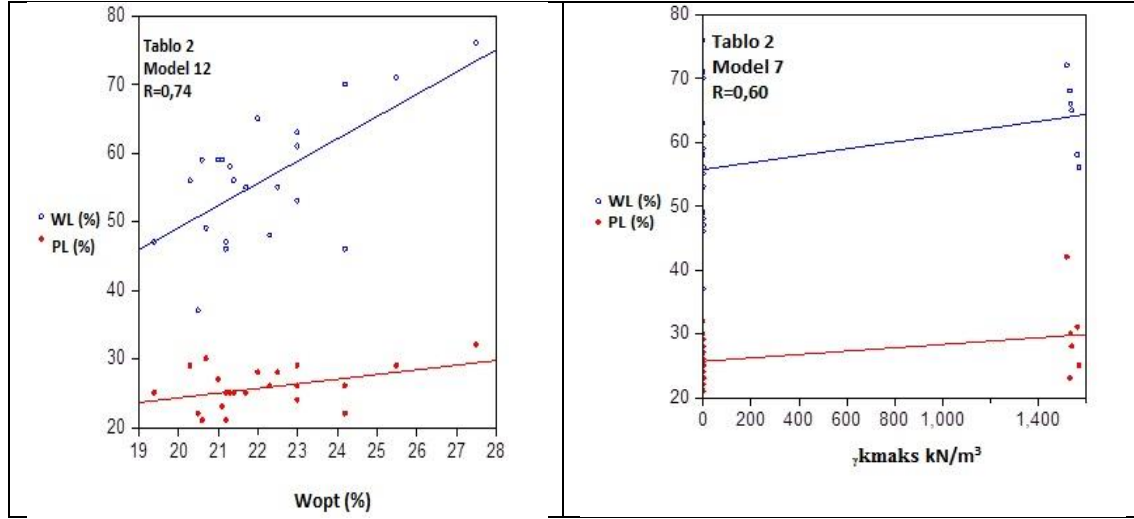
W_{opt} ile indeks özellikleri arasındaki ilişkiler R açısından ele alındığında, en yüksek 0.82 değerinin bulunduğu görülmüştür (Şekil 2). Model 1 ile Model 9 ve Model 12 ile Model 3 karşılaştırıldığında, içerisinde kum ve çakıl bulunmayan verilerle daha yüksek R değerlerinin elde edilebileceği anlaşılmıştır.



Şekil 2. W_{opt} ile W_L arasındaki ilişkiler
(Figure 2. Relationships between W_{opt} and W_L)

Çoklu regresyon analizleri sonucu, γ_{kmaks} ile indeks parametreleri arasında elde edilen uygun korelasyonlar Tablo 2’de topluca verilmiştir. Modeller R açısından ele alındığında, en yüksek 0.60 değerinin bulunduğu görülmüştür. Şekil 3 de W_L ve W_P değerleri ile W_{opt} ve γ_{kmaks} parametreleri arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi yer almakta olup, W_L ve W_P

değerleri ile W_{opt} değerini belirlemede daha yüksek R değerinin elde edildiği görülmüştür.



Şekil 3. Attenberg limitleri ile kompaksiyon parametreleri arasındaki ilişkiler
(Figure 3. Relationships between attenberg limits and compaction parameters)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, Adıyaman Balkar, Çelik ve Pınaryayla göletlerinden elde edilen Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılmasına göre sınıflandırılmış, ince daneli zeminler üzerinde standart proktor deneyleri sonucunda belirlenen, w_{opt} ve γ_{kmaks} ile birlikte aynı numune üzerinde gerçekleştirilen kıvam limit, granülometre ve hidrometre deneyi sonucu parametreleri kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- w_{opt} değerinin tahmini R açısından ele alındığında en yüksek 0.82 değerinin elde edildiği Tablo 2 deki Model 9 olduğu görülmüştür.
- γ_{kmaks} ile indeks özellikleri arasındaki ilişkilerin regresyon analizleri neticesindeki sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek R değerini veren model 0.60 ile Tablo 2 deki Model 7 dir.
- Tablo 1 deki 58 adet verinin kullanılmasıyla γ_{kmaks} değerinin tahmininde istatistiksel olarak uygun modeller elde edilememiştir. Tablo 1 deki 32-58 arası içeriğinde kum ve çakıl bulundurmayan numunelere ait verilen kullanılmasıyla daha yüksek R değerleri elde edilmiştir. Buna içeriğinde değişik şekil parametrelerine ait agregaların bulunmaması nedeniyle daha homojen durumda bulunan kil ve silt numunelerinin attenberg limitlerinin daha gerçekçi sonuçlar vermesinin neden olduğu düşünülmektedir.
- W_L ve W_p değerleri ile w_{opt} ile γ_{kmaks} değerlerini belirlemede w_{opt} için daha yüksek R değeri elde edilmiştir.
- Çalışmada ince daneli zeminler ile elek analiz verileri regresyon analizlerinde kullanılmamıştır.
- Başka bir çalışmada hem iri daneli zemin verileri kullanılmış hem de elek analiz sonuçları regresyon analizlerinde kullanılmış ve daha yüksek korelasyonlar elde edilmiştir. Çalışma kendi içerisinde ele alındığında ise kum ve çakıl numuneden yoksun zeminlerin indeks özelliklerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan çalışma iri ve ince daneli zeminler için mukayese edilebilir.



- Hidrometre deneyi sonucu belirlenen kil ve silt oranlarının Attenberg limitleri ile kompaksiyon parametrelerini ne ölçüde etkilediği ile ilgili bir çalışma yapılabilir.
- Zeminin konsolisasyon deneyi verileri ile kompaksiyon ile Attenberg limitleri arasındaki ilişkiler incelenebilir.
- Yeterli zaman ve laboratuvar imkanlarının bulunması halinde gerekli testlerin yapılması ile elde edilen verilerin kullanılması ile daha uygun sonuçların alınacağı unutulmamalıdır.
- Herhangi bir zeminin kompaksiyon parametreleri hakkında fikir sahibi olmak için, hızlı ve pratik bir yöntem olarak bu modellerin kullanılması faydalı olacaktır.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

CH	:Yüksek Plastisiteli Kil
CL	:Düşük Plastisiteli Kil
GC	:Killi Çakıl
MH	:Yüksek Plastisiteli Silt
ML	:Düşük Plastisiteli Silt
SC	:Killi Kum
IP	:Plastisite İndeksi
W	:Su İçeriği
W_L	:Likit Limit
W_P	:Plastik Limit
W_{opt}	:Optimum Su İçeriği
γ	:Birim Hacim Ağırlık
γ_{maks}	:Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
γ_n	:Doğal Birim Ağırlık

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Al-Khafaji, A.N., (1987). A Simple Approach to the Estimation of Soil Compaction Parameters. Quarterly Journal of Engineering Geology, 20, 15-30.
- [2] Al-Khafaji, A.N., (1993). Estimation Soil Compaction Parameters by Means of Atterberg Limits. Quarterly Journal of Engineering Geologist, 26(1993):359-368.
- [3] Blotz, L.R., Benson, C.H., and Dan Boutwell, G.P., (1998). Estimating Optimum Water Content and Maximum Dry Unit Weight for Compacted Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(1998):907-912.
- [4] Bowles, J.E., (1979). Physical and Geotechnical Properties of Soils. McGraw-Hill Book Company.
- [5] Ekinçi, C.E. and Orakoğlu, M.E., (2013). Zemin Gerilmelerinin Sayısal Gerilme Çözümlemesi Yöntemiyle Tahmini. International Technologic Science, 5(1):121-127
- [6] Das, B.M., (2010). Principles of Geotechnical Engineering. Stamford: Cengage Learning.
- [7] Davidson, D.T. and Gardiner, W.F., (1950). Calculation of Standard Proctor Density and Optimum Moisture Content from Mechanical, Analysis. Shrinkage Factors and Plasticity Index. Highway.
- [8] Derdour, H. and Angers, D.A., (1992). Influence on Salinity and other Constituents on the Mechanical Behavior of Clay Soils. Soil Technology, 5(1):39-46.
- [9] Gunaydin, O., (2009). Estimation of Soil Compaction Parameters by Using Statistical Analyses and Artificial Neural Networks. Environmental Geology. 57:203-215.
- [10] Hausmann, M., (1990). Engineering Principles of Ground Modification. USA: McGraw-Hill Publishing Company.



-
- [11] Holtz, R.D., Kovacs, W.D., and Sheahan, T.C., (2010). An introduction to Geotechnical engineering. USA: Prentice- Hall.
- [12] Jeng, Y.S. and Strohm W.E., (1976). Prediction of the Sherar Strength and Compaction Characteristics of Compacted Fine-Grained Cohesive Soils, Final Report. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Soils and Pavement Laboratory, Vicksburg.
- [13] Johnson, A.W. and Sallberg, J.R., (1962). Factors Influencing Compaction Results. Highway Research Board Bulletin, 319:125.
- [14] Jumikis, A.R., (1946). Geology and Soils of the Newark (NJ) Metropolitan Area. J Soil Mech Found ASCE 93(SM2:71-95).
- [15] Matteo, D.L., Bigotti, F., and Ricco, R., (2009). Best-Fit Models to Estimate Modified Proctor Properties of Compacted Soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 135:992-996.
- [16] Miller, G.A., (2017). Compaction and Volume Change Behavior of Embankment Soil. M.ASCE1.
- [17] Noor, S., Chitra, R., and Gupta, M., (2011). Estimation of Proctor Properties of Compacted Fine Grained Soils from Index and Physical Properties. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 04-06:147-150.
- [18] Pandian, N.S., Nagaraj, T.S., and Manoj, M., (1997). Re-examination of Compaction Characteristics of Fine Grained Soils. Geotechnique, 47(2):363-366.
- [19] Proctor, R.R., (1933). Fundamentals Principles of Soil Compaction. Engineering News-record, 111(9):245-248.
- [20] Ring, G., Sallberg, J., and Collins, W., (1962). Correlation of Compaction and Classification Test Data, Hwy. Res. Bull. No. 325, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp:55-75.
- [21] Rollings, M. and Rollings, R.R., (1996). Geotechnical Materials in Construction. USA: McGraw- Hill.
- [22] Sivrikaya, O., (2007). Models of Compacted Fine-Grained Soils used as Mineral Liner for Solid Waste. Environmental Geology.
- [23] Sridharan, A. and Nagaraj, H.B., (2005). Plastic Limit and Compaction Characteristics of Fine-Grained Soils. Ground Improvement, 9(1):17-2.
- [24] Uysal, F., Bağrıaçık, B., and Yıldız, A., (2018). The Effect of Soft Soil Model Parameters on Soil Behavior. Çukurova University Journal of Engineering and Architecture Faculty, 33(1):97-106.