

**ZEMİNLERİN ŞİŞME POTANSİYELİNİN ÇOK DEĞİŞKENLİ LİNEER
REGRESYON YAKLAŞIMI İLE TAHMİN EDİLMESİ****Cafer KAYADELEN***K.S.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş/Türkiye***Mehmet Arslan TEKİNSOY***Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye***Osman GÜNAYDIN ve Mustafa FENER***N.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Niğde/Türkiye*

ÖZET : Bu çalışmada, geoteknik mühendisliğinin önemli konularından birisi olan zeminlerin şişme potansiyeli incelenmiştir. Şişme potansiyeline sahip zeminler, mevsimsel etkilerin sonucu olarak farklı su içeriklerine sahip olmakta ve bu etkinin sonucu olarak hacimlerinde artma veya azalma, diğer bir değişle şişme veya büzülme davranışları göstermektedir. Bu zeminler üzerinde kurulmuş olan yapılarda büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu nedenle güvenli ve ekonomik bir yapı tasarımı için zeminlerin şişme özelliklerinin araştırılması önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, şişme potansiyeli ile temel zemin özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacı ile Niğde'nin farklı bölgelerine ait zeminlerin şişme potansiyeli (ŞP) verileri toplanarak çok değişkenli lineer regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şişen zeminler, şişme potansiyeli, çok değişkenli lineer regresyon,

**ESTIMATION OF THE SWELLING POTENTIAL USING MULTIVARIABLE
LINEAR REGRESSION**

ABSTRACT : In the content of this study, swelling potential, one of the problem of the geotechnical engineering is investigated. Expansive soils are subjected to seasonal moisture content variation and they can exhibit large volume change as a result of this effect. In other words, expansive soils show swell or shrink behavior. Large damage in the engineering structures built on these soils can be observed. Therefore, it is important to investigate the swelling characteristics of soils for the safe and economic design of the engineering structures. In this study, in order to examine the relationship between the basic soil properties and swelling potential, multivariable linear regression analyses are carried out using swelling potential data set collected from the different locations of Nigde.

Keywords: Expansive soils, swelling potential, multivariable linear regression

1. GİRİŞ

Şişen zeminler, büyük bir kaldırma basıncı uygulayarak, bina, yol, baraj, hava alanı kaplaması, çöp atık depolama sistemleri ve diğer mühendislik yapılarına beklenmeyecek derecede hasarlar verebilmekte ve büyük ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Dhowian et al., [1] sadece Amerika Birleşik Devletlerinde şişen zeminler yüzünden yılda 2.3 milyar Dolar hasarın meydana geldiğini bildirmiştir. Bu nedenle herhangi bir mühendislik yapısının projesi yapılmadan önce, yapının üzerine oturacağı zeminin diğer geoteknik özelliklerinin yanında şişme özelliklerinde araştırılmasının faydalı olacağı açıktır. Kil tipi ve ince dane oranının yüzdesi şişme potansiyelini etkileyen başlıca faktörlerdir. Bunun yanı sıra zeminin ön konsolidasyon basıncı, boşluk oranı, su muhtevası, kuru birim hacim ağırlığı gibi diğer zemin özellikleride şişme üzerinde etkiye sahiptir [2].

Şişme potansiyeli belli bir yük altında zemin numunesinde meydana gelen hacim artışının başlangıç hacmine oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$S_w = \left[\frac{\Delta H}{H} \times 100 \right] \quad (1)$$

Şişme potansiyeli, ASTM-4546 [3] ya göre genel olarak laboratuvarında serbest şişme deneyi ve yük altında şişme deneyi olarak bilinen iki farklı yöntem ile tespit edilmektedir. Serbest şişme deneyinde, ödometre düzeneğindeki zemin numunesi üzerine 1 kPa sürşarj yükü uygulanarak serbest şişmeye müsaade edilir ve şişme tamamlanınca meydana gelen hacim değişimleri ölçülerek şişme potansiyeli hesaplanır. Yük altında şişme deneyinde ise temel yüküne eşdeğer bir yükleme yapılır ve numunenin suya doyması beklenir ve bu arada şişmenin dengelenmesi sağlanır [4].

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER

Regresyon analizlerinde, Nigde ilinin farklı bölgelerinde yapılmış şişme deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan zeminlerin fiziksel özellikleri Tablo 1’de görülmektedir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre zeminler CH, CI, CL, GC, GM, MH, MI ve ML olarak sınıflandırılmaktadır. 78 adet veri seti çoklu lineer regresyon analizlerine (ÇLR) tabii tutularak regresyon modelleri geliştirilmiştir.

3. ÇOKLU LİNEER REGRESYON ANALİZİ

Basit regresyon analizlerinden farklı olarak ÇLR analizleri, bağımsız bir parametrenin değişimini birden fazla bağımsız parametreye bağlı olarak ifade etmeye imkan sağlamaktadır [5,6]. Zeminler gibi karmaşık yapıya sahip malzemelerin mekanik davranışları, sadece bilinen bir parametreye bağlı olarak tanımlanması oldukça hatalı sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle zemin davranışlarının tanımlanmasında birden fazla parametrenin kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir. Bu anlamda ÇLR gibi yaklaşımların kullanılması avantajlı görülmektedir. Bu çalışmada, zeminlerin şişme potansiyeli üzerinde etkisi olduğu düşünülen beş farklı zemin özellikleri, ince dane oranı (İD), kaba dane oranı (KD), plastisite indisi (PI), maksimum kuru birim

*ZEMİNLERİN ŞİŞME POTANSİYELİNİN ÇOK DEĞİŞKENLİ
LİNEER REGRESYON YAKLAŞIMI İLE TAHMİN EDİLMESİ*

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veriler.

	İnce dane oranı	Kaba dane oranı	Plastisite indisi (PI)	Max. Kr. Birim. Ağ. (γ_k)	Dane birim ağırlık (γ_s)
	%	%	%	gr/cm³	gr/cm³
1	63.5	36.5	30.1	1.53	2.69
2	74.0	26.0	33.3	1.43	2.70
3	72.5	27.5	28.0	1.56	2.71
4	79.5	20.5	28.9	1.55	2.64
5	56.0	44.0	25.1	1.78	2.79
6	75.0	25.0	27.1	1.47	2.69
7	75.0	25.0	27.1	1.47	2.69
8	75.0	25.0	28.1	1.57	2.79
9	57.0	43.0	25.7	1.64	2.73
10	66.0	34.0	23.9	1.61	2.78
11	70.0	30.0	19.5	1.69	2.79
12	65.0	35.0	25.4	1.65	2.78
13	49.0	51.0	20.5	1.83	2.80
14	56.0	44.0	20.9	1.72	2.78
15	53.0	47.0	22.8	1.78	2.77
16	50.0	50.0	22.4	1.81	2.67
17	59.0	41.0	14.5	1.84	2.75
18	55.0	45.0	15.4	1.66	2.62
19	74.0	26.0	18.1	1.64	2.61
20	64.0	36.0	16.9	1.69	2.71
21	64.0	36.0	16.9	1.69	2.71
22	75.0	25.0	17.9	1.55	2.69
23	75.0	25.0	17.9	1.55	2.69
24	65.0	35.0	21.9	1.76	2.67
25	54.0	46.0	20.0	1.70	2.70
26	55.0	45.0	17.5	1.89	2.68
27	54.0	46.0	14.7	1.91	2.75
28	61.0	39.0	17.7	1.91	2.66
29	57.0	43.0	21.2	1.74	2.82
30	56.0	44.0	22.7	1.65	2.78
31	67.0	33.0	17.8	1.78	2.69
32	52.0	48.0	14.9	1.81	2.65
33	54.0	46.0	14.1	1.76	2.65
34	57.5	42.5	7.9	1.80	2.81
35	57.5	42.5	7.9	1.80	2.81
36	51.0	49.0	14.7	1.85	2.64
37	47.0	53.0	13.2	1.83	2.78
38	52.0	48.0	11.9	1.90	2.62
39	61.0	39.0	17.1	1.81	2.74
40	60.0	40.0	16.4	1.84	2.78
41	51.0	49.0	14.7	1.97	2.65
42	65.0	35.0	17.9	1.66	2.68
43	34.0	66.0	17.4	1.89	2.62

Çizelge 1. devamı

	İnce dane oranı	Kaba dane oranı	Plastisite indisi (PI)	Max. Kr. Birim. Ağ. (γ_k)	Dane birim ağırlık (γ_s)
	%	%	%	gr/cm ³	gr/cm ³
44	13.0	87.0	13.2	2.09	2.85
45	38.0	62.0	10.1	1.92	2.77
46	33.0	67.0	26.7	1.74	2.78
47	40.0	60.0	14.2	1.79	2.76
48	40.0	60.0	14.2	1.79	2.76
49	50.0	50.0	22.5	1.69	2.72
50	59.0	41.0	19.1	1.67	2.73
51	74.0	26.0	20.9	1.67	2.72
52	53.0	47.0	12.4	1.96	2.74
53	37.0	63.0	16.4	1.88	2.77
54	42.0	58.0	17.6	1.81	2.75
55	27.0	73.0	15.1	1.95	2.72
56	35.0	65.0	15.2	1.96	2.82
57	42.0	58.0	15.4	1.84	2.75
58	37.0	63.0	22.9	1.70	2.58
59	48.0	52.0	26.6	1.66	2.73
60	45.0	55.0	20.7	1.81	2.72
61	41.0	59.0	21.9	1.83	2.69
62	33.0	67.0	26.9	1.85	2.73
63	31.0	69.0	15.7	2.03	2.66
64	44.0	56.0	20.8	1.89	2.73
65	32.0	68.0	13.8	1.81	2.76
66	38.0	62.0	17.5	1.82	2.76
67	37.0	63.0	18.5	1.73	2.71
68	23.0	77.0	15.0	1.83	2.75
69	40.0	60.0	10.2	1.86	2.74
70	39.0	61.0	12.3	1.85	2.69
71	42.0	58.0	13.7	1.91	2.76
72	33.0	67.0	13.2	1.88	2.76
73	42.0	58.0	13.7	1.91	2.76
74	19.0	81.0	15.1	1.93	2.69
75	15.0	85.0	7.4	2.02	2.65
76	27.0	73.0	8.6	2.02	2.75
77	42.0	58.0	15.1	1.97	2.70
78	47.0	53.0	16.8	1.79	2.76

hacim ağırlığı (MKB) ve dane birim ağırlık (DBA), bağımsız değişkenler olarak kabul edilirken şişme potansiyeli (ŞP) bağımlı değişken olarak kabul edilmiştir. Alternatif modeller geliştirmek amacı ile, bu beş bağımsız değişkenler arasından rastgele bazıları çıkarılmış ve dört farklı ÇLR modeli kurulmuştur. Geliştirilen modeller topluca Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 3. Geliştirilen modeller

Modeller	Kullanılan bağımsız değişken
Model I	İD, KD, PI, MKB ve DBA
Model II	İD, PI, MKB ve DBA
Model III	İD, PI ve MKB
Model IV	PI ve MKB

Şekil 1-2-3-4’de, ÇLR analizlerinden elde edilen sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 1 de yukarıda bahsedilen zeminlerin beş farklı temel fiziksel özellikleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi, herhangi bir korelasyonun performansının bir ölçüsü olarak kabul edilen korelasyon katsayısı (R) 0.91 olarak bulunmuştur. Smith [7]’e göre, önerilen bir model 0.80’den büyük bir R değeri veriyorsa, ölçülen veriler ile tahmin edilen veriler arasında kuvvetli bir korelasyonun olduğu kabul edilmektedir. Şekil 2’de ise İD, PI, MKB ve DBA bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi bu analizde de R değeri 0.90 olarak bulunmuş ve tatmin edici bir sonucun elde edildiği anlaşılmıştır. Şekil 3’teki karşılaştırmada İD, PI ve MKB kullanılarak bir model denenmiş ve R değeri 0.91 olarak elde edilmiştir. Son olarak Şekil 4’te PI ve MKB bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bu analizde de kuvvetli bir korelasyonun olduğu R değerinin 0.91 olarak bulunması ile anlaşılmıştır. Yapılan tüm karşılaştırmalara bakıldığında, ÇLR analizlerinden elde edilen modellerin tümünün oldukça iyi korelasyonlar verdiği görülmektedir. Elde edilen modellerin performansının değerlendirilmesinde standart hatalarında (SE) bulunması önemlidir. Bu nedenle elde edilen sonuçların SE değerleri bulunmuş ve Çizelge 3’de R değerleri ile birlikte topluca verilmiştir. ÇLR analizleri sonucu elde edilen çok değişkenli regresyon denklemleri aşağıda sırası ile verilmiştir.

$$\hat{SP}=0.00569\hat{ID}+0KD+0.2991PI-7.1560MKB+1.4862DBA+10.0543 \quad (2)$$

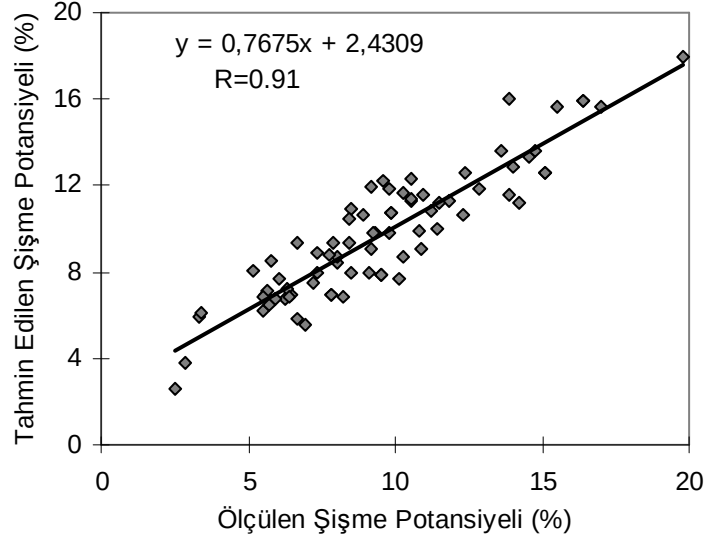
$$\hat{SP}=0.0170\hat{ID}+0.2725PI-12.3322MKB+3.3497DBA+16.4816 \quad (3)$$

$$\hat{SP}=0.0158\hat{ID}+0.2737PI-12.2121MKB+25.4297 \quad (4)$$

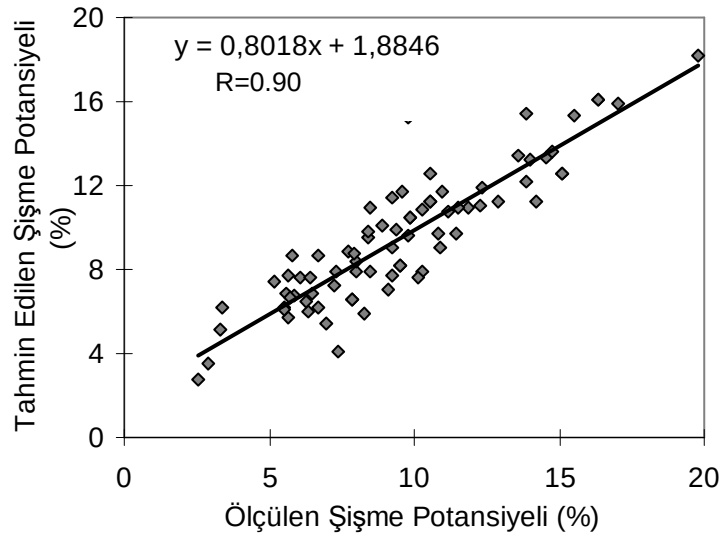
$$\hat{SP}=0.2686PI-13.6878MKB+28.9503 \quad (5)$$

Çizelge 2. Modellerin istatistiksel performansları.

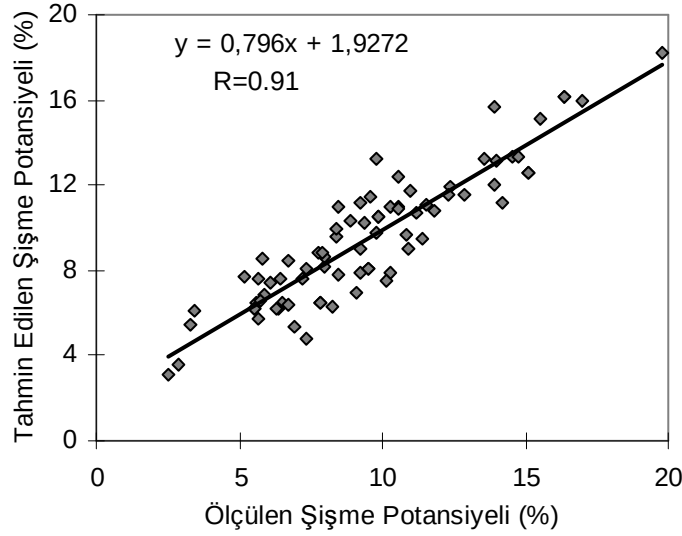
Modeller	R değerleri	SE değerleri
Model I	0.91	1.61
Model II	0.90	1.63
Model III	0.91	1.62
Model IV	0.91	1.63



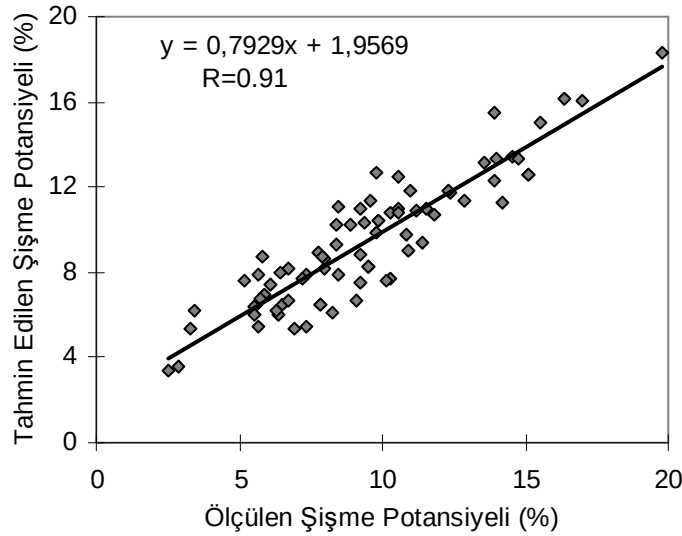
Şekil 1. Model I' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.



Şekil 1. Model II' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.



Şekil 1. Model III' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.



Şekil 1. Model IV' den elde edilen sonuçların deneysel değerler ile karşılaştırılması.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında zeminlerin fiziksel özellikleri ile şişme potansiyeli arasındaki ilişki, 78 adet farklı zemin üzerinde gerçekleştirilen şişme deneyinden elde edilen şişme potansiyeli verileri kullanılarak incelenmiştir. Şişme potansiyelinin (ŞP) deney yapmadan tahminini sağlamak amacı ile çoklu lineer regresyon (ÇLR) analizleri yapılarak dört farklı regresyon denklemi elde edilmiştir. Analizlerde, zeminlerin temel fiziksel özelliklerinden İD, KD,PI, MKB VE DBA bağımsız değişkenler olarak kullanılmış ve bağımlı değişken olan ŞP nin tahmini için denklemler türetilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda yüksek R değerleri elde edilmiştir ve istatistiksel olarak

kuvvetli bir korelasyonun elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sonuçların standart hatalarında (SE) hesap edilerek modellerin iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yapılan bu analizlere dayanarak elde edilen denklemlerin, zeminlerin temel fiziksel özelliklerinin bilinmesi durumunda şişme potansiyelinin tahminde kullanılmasının mümkün olduğu söylenebilir. Yine de bu denklemlerin kullanılması ile laboratuvar şişme deneylerinin kesin olarak elimine edildiği söylenemez. Ancak hızlı ve pratik olarak herhangi bir zeminin şişme potansiyeli hakkında fikir sahibi olunması istendiğinde, bu denklemlerin kullanılması faydalı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Dhowian,A., Orhan,E. and Abdulfattah,Y., “Evaluation of expansive soils and foundation methodology in the kingdom of Saudi Arabia”, King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyad, 1988.
2. Keskin,S.N., “İstanbul neojen kilinin şişme davranışına ön konsolidasyonun, mineralojik özelliklerin ve çevresel faktörlerin etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul, Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
3. ASTM. Standart test methods for one dimensional swell or settlement potential of cohesive soils. Annual Book of ASTM Standards, 04: 2, 1986.
4. Uzer,A.U. ve Olgun,M., “Şişen zeminler üzerinde iki farklı şişme deney yöntemi sonuçlarının değerlendirilmesi”, Selçuk Üniversitesi ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online, Volume 5, Number:3, 2006.
5. Drapper,N.R., Schmidt,H., “Applied regression Analysis”, John Willey and Sons, New York, 1981.
6. Rawlings,J.O., Applied regression Analysis: A Research Tool, Wadsworth and Brooks/Cole Advanced Books and Software, 1998.
7. Smith,G.N., “Probability and statistics in civil engineering”, London, Collins, 1986.