

PLASTİK VE LİKİT LİMİTİN TAYİNİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Kamil Kayabalı
Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Osman Oğuz Tüfenkçi
Akademi Jeoteknik Araştırmalar Ltd. Şti., Ankara

ÖZET

Plastisite indeksi zeminleri sınıflamada ve diğer bazı zemin parametreleri ile korelasyon yapmada kullanılan temel zemin özelliklerinden biridir. Plastisite indeksini belirlemede kullanılan plastik limit ile likit limit, en çok deneyi yapan kişiye bağlı olmak üzere birçok belirsizlik içermektedir. Bu limitleri belirlemede kullanılan geleneksel yöntemler Casagrande düşürmeli tası ile elle yuvarlama yöntemleridir. Bu iki deneyin tekrar edilebilirliği ve başka laboratuvarlar arasında karşılaştırılabilirliğinin genellikle düşük olması, bu konuda alternatif yöntemler geliştirmek üzere çok sayıda girişimin olmasına yol açmıştır. Bu çalışma da onlardan biridir. Bu amaç için mekanik metalurjide kullanılan ters ekstrüzyon yöntemi uyarlanmıştır. İnce zeminlerin değişik su içeriklerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçları belirlenmiş; bu iki parametre arasında kuvvetli bir yarı-logaritmik ilişki olduğu ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında yirmi adet değişik inorganik zemin örneği test edilmiştir. Ters ekstrüzyon deneylerinin sonuçları değerlendirilmek suretiyle plastik limit ve likid limit için yeni tanımlamalar yapılmıştır.

GİRİŞ

İnce zeminlerin mühendislik davranışının su içeriği ile çok ilişkili olduğu bilinmektedir. Terzaghi bu konuda “su olmayan gezegende zemin mekaniğine gerek olmazdı” diyerek suyun zeminler için ne kadar önemli olduğunu veciz biçimde ifade etmiştir. Zeminlerin su içeriği zeminin bir sıvı gibi davrandığı bir uç durumdan, zeminlerin kuru olduğu diğer uç gibi çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Bu aralıkta belirli geçiş noktalarındaki su içerikleri likid, plastik ve büzülme limiti olarak adlandırılmaktadır. Bu limitleri laboratuvarla tayin etmede birçok belirsizlik olmakla birlikte, bunları tayin etmede kullanılan en yaygın yöntemler on yıllardan beri değişmemiştir.

Plastik limit zeminin elle yuvarlanması sırasında kırılmadan 3 mm’lik çapa indiği durumdaki su içeriği olarak tarif edilir. Elle yuvarlayarak 3 mm’lik çapa indirme şeklindeki geleneksel yöntemde söz konusu olan belirsizlikler, yuvarlanan zemine elle uygulanan basınç;

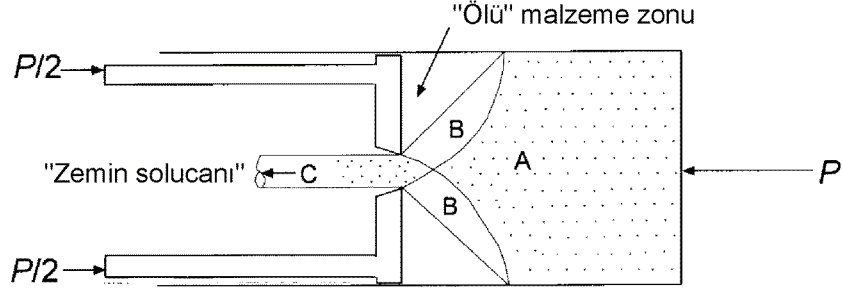
geometri (yani, elle temas genişliğinin çamur ipliği çapına oranı); zemin, el ve plaka arasındaki sürtünme ile birlikte yuvarlama hızıdır (Whyte, 1982). Aynı zemine ait plastik limit değerleri arasında büyük değişimlerin olması mümkündür. Lee ve Freeman (2007) yoğrulmuş zeminlerin plastik limitini belirlemek üzere öne sürülen on farklı deneysel tekniği karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir.

Likid limit, zeminlerin sıvı gibi akamayacağı kıvamdaki su içeriği olarak veya Casagrande deney aletinde yirmi beş vuruşa karşılık gelen su içeriği olarak tarif edilir. Bir zeminin likid limiti deney düzeneğindeki düşürme levhasının sertliğine, bu taban plakasının nerede durduğuna, taşı düşürme yüksekliğine, deney yapan kişinin performansına, oluk açma bıçağı ile ayrılan parçaların birlikte kayma eğilimine, genişleyebilir zeminlerde suyun göçüne ve zemin türüne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim gösterebilir (Johnston ve Strohm, 1968; Wroth ve Wood, 1978; Whyte, 1982; Lee ve Freeman, 2007). Lee ve Freeman (2007) yoğrulmuş zeminlerin likid limitini belirlemede kullanılan sekiz deneysel yöntemi irdelenmiştir.

Bu çalışmada ise, başta operatör hatalarını ortadan kaldırmak üzere amaçlanmış, ters ekstrüzyon yöntemine dayalı olarak zeminlerin plastik ve likid limitlerinin yeniden tanımlanması amaçlanmıştır.

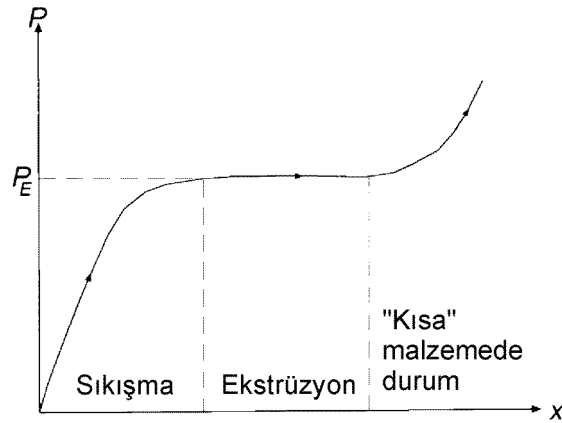
EKSTRÜZYON

Ekstrüzyon; bir metal, plastik veya zemin bloğunun basınçla zorlanarak daha dar bir kesitten geçirildiği mekanik bir süreçtir. Ters ekstrüzyon olarak adlandırılan yöntemde (Şekil 1) bir ucu kapalı hazne içine yerleştirilen malzeme, ortasında delik bulunan bir pistonla sıkıştırılırken, pistondaki delikten (deliğin şeklini almış olarak) dışarı çıkar. Ters ekstrüzyonda hazne çeperi ile malzeme arasında göreceli bir hareket olmadığından, sürtünme ve ekstrüzyonu gerçekleştirmek için gerekli kuvvet doğrudan ekstrüzyon yöntemindekine kıyasla daha azdır. Hazne içine rijit biçimde yerleştirilen malzeme (bu durumda zemin; A) B zonuna eriştiğinde deforme olarak piston deliğinden çıkar (Şekil 1’de C). Bu durumda malzemeye uygulanan gerilme sünme limiti düzeyinde olup, delikten çıkan malzemeye bu plastik sünme zonunda daha fazla gerilme uygulanamaz (Whyte, 1982).



Şekil 1. Ters ekstrüzyon sürecinin şematik ifadesi (Whyte, 1982'den değiştirilerek).

Ters ekstrüzyon yöntemine ait ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmiştir. Ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon kuvvetinin malzemenin kesit alanına bölünmesi ile elde edilir. Ters ekstrüzyonda hazne ile malzeme arasında bir göreceli hareket olmadığından, pistonun ilerlemesi sırasında ekstrüzyon basıncı yaklaşık olarak sabit kalır ve delikten çıkan malzemeyi deforme etmek için gerekli gerilmeyi temsil eder (Dieter, 1988).



Şekil 2. Ters ekstrüzyonda yükleme ile piston hareketi arasındaki ilişki (Whyte, 1982'den).

ZEMİN KIVAM DENEYLERİ

Geleneksel Atterberg Limitleri Deneyleri

Deney için seçilen ince zeminlerde değişik su içeriklerinde ters ekstrüzyon deneyleri yapmadan önce geleneksel likid limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Bu amaç için değişik plastisite özelliklerindeki yirmi adet inorganik zemin malzemesi kullanılmıştır. Bu yirmi adet zemin numunesinin her biri üzerinde değişik zemin mekaniği laboratuvarlarında görevli değişik teknisyenlerce yirmişer adet geleneksel plastik limit deneyi yapılmıştır.

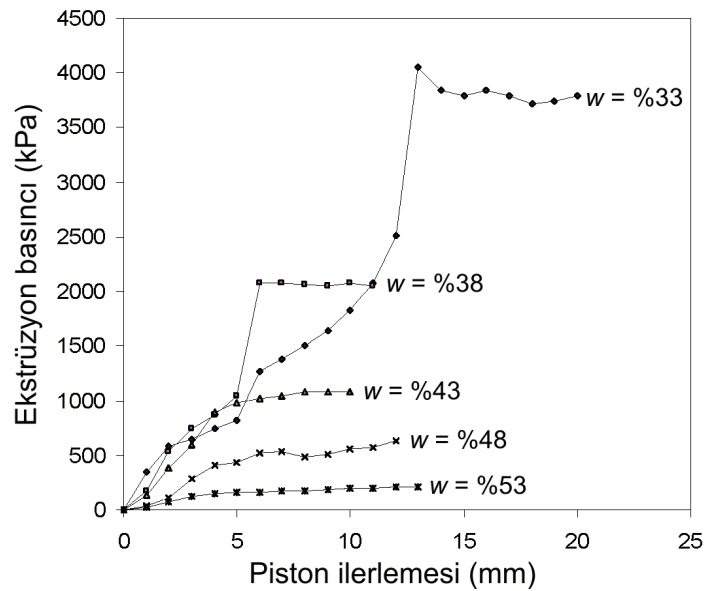
Benzer şekilde, yirmi adet inorganik zemin malzemesinin her biri üzerinde yirmi adet likid limit deneyi yapılmıştır. Toplamı sekiz yüz adet olan bu deneylerin istatistiksel sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yirmi adet zemin örneği üzerinde gerçekleştirilen geleneksel plastik ve likid limit deneylerinin istatistiksel sonuçları.

Numune No.	Plastik Limit (%)				Likid Limit (%)				USCS Sınıfı
	Min.	Max.	Ort.	St. Sap.	Min.	Max.	Ort.	St. Sap.	
01	21,4	30,8	26,5	2,6	63,4	81,0	71,0	4,0	CH
02	24,1	30,3	27,3	1,7	62,5	83,9	73,8	5,7	CH
03	18,2	25,7	21,1	2,0	51,3	63,6	57,3	3,2	CH
04	16,0	28,5	25,4	2,8	49,0	60,4	53,4	2,9	CH
05	14,7	26,5	20,7	2,6	46,3	60,2	52,3	4,1	CH
06	18,4	31,0	24,5	3,3	42,0	58,2	48,9	3,8	CL
07	13,8	33,0	19,6	4,3	42,4	53,5	47,1	3,0	CL
08	12,0	27,1	17,7	3,8	34,3	42,7	38,2	2,7	CL
09	17,2	25,1	20,4	2,1	45,0	52,0	48,4	2,4	CL
10	12,1	20,1	16,7	1,8	27,8	36,2	31,6	2,5	CL
11	30,0	42,1	35,0	2,7	57,3	109,0	82,6	10,9	CH
12	25,4	42,5	33,2	4,5	50,8	68,1	58,2	4,1	MH
13	26,6	40,4	31,5	3,3	53,4	70,6	62,4	4,7	MH
14	26,1	37,7	31,4	3,2	53,6	74,2	64,3	5,6	CH
15	27,2	43,0	33,7	3,6	63,8	90,0	75,8	7,3	CH
16	13,5	28,0	18,7	3,5	24,1	36,3	29,5	3,6	CL
17	15,1	22,9	19,5	1,9	33,1	45,2	37,5	2,9	CL
18	15,0	22,3	18,8	1,9	33,2	46,4	38,9	3,2	CL
19	13,6	31,0	19,6	3,2	35,4	55,1	39,1	4,5	CL
20	15,2	32,0	19,4	3,6	33,0	42,5	37,4	2,7	CL

Ters Ekstrüzyon Deneyleri

Ters ekstrüzyon deneyleri, çapı 38 mm olan hazne ile, ortasındaki deliğin çapı 6 mm olan pistondan oluşan bir düzenek ile gerçekleştirilmiştir. Hazne çapı ile delik çapının bu şekilde seçilmiş olmasında Whyte'ın (1982) kullandığı alan kesit oranı ($R=40$) esas alınmıştır. Belli bir su içeriğinde önceden homojen biçimde karıştırılan zemin malzemesi hazne içine başparmakla hafifçe sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Deneylerde malzemenin boyunun çapına oranının en az 2 olmasına özen gösterilmiştir. İçine zemin + su karışımı yerleştirilen hazne değişik yükleme hızlarına sahip bir prese yerleştirildikten sonra, pistonun zemini sıkıştırması ve sonunda karışım malzemesinin piston ortasındaki delikten çıkması sağlanmıştır. Deney sırasında pistonun ilerlemesi ve ekstrüzyon kuvveti sürekli olarak kaydedilmiştir. Deneylerde 5 mm/dakika'lık yükleme hızı uygulanmıştır. Ters ekstrüzyon deneyleri her bir zemin numunesi için 4 ile 6 arasında değişik su içeriklerinde tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi şeklinde grafiğe aktarılmıştır. Şekil 3'de 14 No.'lu zemin örneği üzerinde değişik su içeriklerinde gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar verilmiştir. Her bir eğrinin yaklaşık olarak düz kısmını temsil eden ekstrüzyon basıncı, deneyin yapıldığı su içeriğine karşılık gelen temsilci değer olarak tayin edilmiştir.



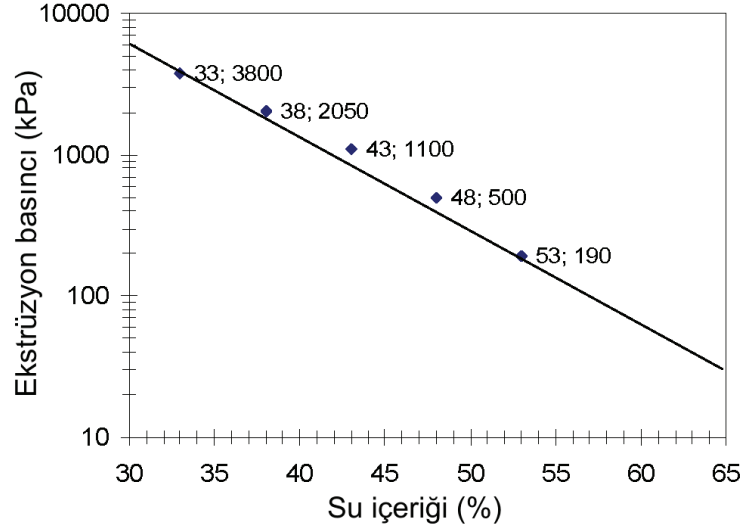
Şekil 3. Numune 14 için değişik su içeriklerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçları.

Şekil 3'deki gibi grafiklerden elde edilen ekstrüzyon basıncı – su içeriği şeklindeki veri çiftleri Şekil 4'dekine benzer yarı-logaritmik yeni bir grafiğe aktarılmıştır. Şekil 4'deki

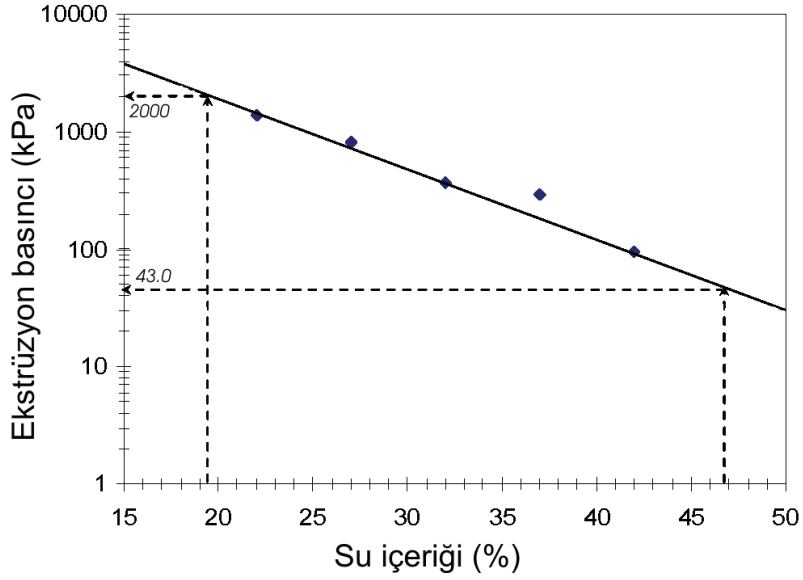
noktalara, altında herhangi bir nokta bulunmayacak biçimde en uygun doğrusal zarf çizilmiştir. İdeal olarak, ekstrüzyon basıncı – su içeriği ilişkisini temsil eden her bir noktanın aynı doğrusal çizgi üzerine düşmesi beklenir. Bu doğrusal çizgiden sapmaların, deney sırasında zemin artı su karışımının hazne ile piston arasında istenmeyen sıkışmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda uygulanması gerekli ekstrüzyon kuvveti (ve dolayısıyla gerilmesi) artmakta; aynı su içeriğine ait ekstrüzyon basıncı daha yüksek çıkmakta ve bu şekilde ekstrüzyon basıncı – su içeriği noktası düşey yönde yukarı doğru kaymaktadır. Bu sebepten dolayı, yirmi adet numunenin her biri için çizilen zarfın, doğrusal çizgi altında hiç bir nokta kalmayacak şekilde oluşturulmasına özen gösterilmiştir.

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yirmi adet inorganik zemin numunesinin her biri üzerinde değişik su içeriklerinde birkaç adet ters ekstrüzyon deneyi yaptıktan sonra, sonuçlar Şekil 5’dekine benzer biçimde ekstrüzyon basıncı – su içeriği grafiğine dönüştürülmüştür. Daha sonra, geleneksel plastik limit deneylerinin ortalamasına karşılık gelen ekstrüzyon basıncı belirlenmiştir. Benzer şekilde, geleneksel likid limit deneyinden elde edilen değerlerin ortalamasına karşılık gelen ekstrüzyon basıncı belirlenmiş ve Şekil 5’deki gibi grafik üzerine işaretlenmiştir. Bu değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar topluca Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 5’e göre, 7 numaralı numune için ortalama plastik limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncı 2000 kPa; likid limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncı da 43,0 kPa’dır. Tablo 2’deki sonuçlara bir göz atıldığında, yirmi adet inorganik zeminin geleneksel yöntemle elde edilen ortalama plastik limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçlarının daha çok 2000 ile 2500 kPa arasında kaldığı görülmektedir. Benzer biçimde, geleneksel yöntemle elde edilen ortalama likid limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçlarının daha çok 20 ile 40 kPa arasına düştüğü görülmektedir. Bu gözlemlere dayalı olarak, ince zeminlerin plastik limitine karşılık gelen ekstrüzyon basıncı yaklaşık 2250 kPa; likid limitine karşılık gelen ekstrüzyon basıncı da yaklaşık 30 kPa olarak tayin edilmiştir.



Şekil 4. Ekstrüzyon basıncı – su içeriği ilişkisi için örnek bir diyagram.



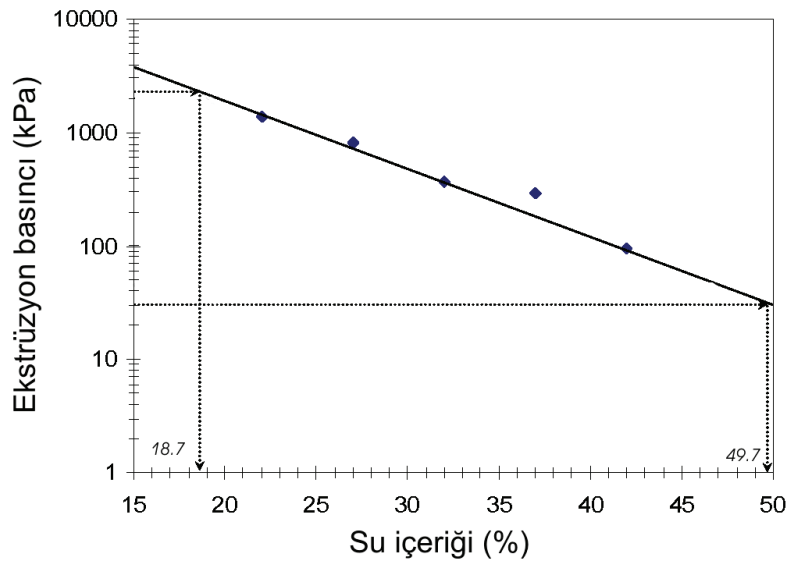
Şekil 5. Numune 07 için ortalama plastik limit ve likid limitten hareketle ekstrüzyon basınçlarının tayini.

Daha önce tayin edilen ve plastik limit ile likit limit için sırayla 2250 ve 30 kPa olan değerlerin ne ölçüde temsilci olduğunu ortaya koymak için, Şekil 5’de takip edilen yöntemin tersi uygulanmıştır. Yani, bu sefer 2250 kPa’lık ekstrüzyon basıncına karşılık gelen plastik limit değeri ile, 30 kPa’lık ekstrüzyon basıncına karşılık gelen likid limit değeri tayin edilmiştir. Bu sürece ilişkin bir örnek Şekil 6’da verilmiştir. Yirmi adet zemin örneği için bu

prosedür uygulanarak elde edilen plastik limit ve likid limit değerleri sırayla Tablo 3 ve 4’de verilmiştir.

Tablo 2. Geleneksel deneylerden elde edilen ortalama plastik limit ve ortalama likid limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçları.

Numune No.	Ekstrüzyon basıncı	
	Plastik limit için	Likid limit için
01	1300	12.5
02	1500	9.3
03	2220	21.0
04	2420	32.0
05	1900	42.0
06	3100	22.0
07	2000	43.0
08	2000	40.0
09	4600	30.0
10	3100	64.0
11	1100	0.55
12	900	2.5
13	3900	30.0
14	4900	33.0
15	3800	22.5
16	480	42.0
17	1200	49.0
18	1400	40.0
19	1500	22.0
20	1150	24.0



Şekil 6. Numune 07 için temsilci ekstrüzyon basınçlarından hareketle plastik limit ile likid limitin tayini.

Tablo 3. Geleneksel yöntemle elde edilen plastik limit değerleri ile ters ekstrüzyon yönteminden elde edilen plastik limit değerleri arasında karşılaştırma.

Numune No.	Plastik Limit (Geleneksel yöntem)				Plastik Limit (Ekstrüzyon yöntemi)	Açıklamalar
	Min.	Max.	Ort.	St. Sap.		
01	21,4	30,8	26,5	2,6	21,0	Sınırlar dışında
02	24,1	30,3	27,3	1,7	23,8	Sınırlar dışında
03	18,2	25,7	21,1	2,0	20,9	$\pm 1\sigma$ içinde
04	16,0	28,5	25,4	2,8	25,5	$\pm 1\sigma$ içinde
05	14,7	26,5	20,7	2,6	18,9	$\pm 1\sigma$ içinde
06	18,4	31,0	24,5	3,3	25,8	$\pm 1\sigma$ içinde
07	13,8	33,0	19,6	4,3	18,7	$\pm 1\sigma$ içinde
08	12,0	27,1	17,7	3,8	15,2	$\pm 1\sigma$ içinde
09	17,2	25,1	20,4	2,1	24,0	Sınırlar içinde
10	12,1	20,1	16,7	1,8	17,6	$\pm 1\sigma$ içinde
11	30,0	42,1	35,0	2,7	31,1	Sınırlar içinde
12	25,4	42,5	33,2	4,5	29,4	$\pm 1\sigma$ içinde
13	26,6	40,4	31,5	3,3	34,7	$\pm 1\sigma$ içinde
14	26,1	37,7	31,4	3,2	36,0	Sınırlar içinde
15	27,2	43,0	33,7	3,6	37,7	Sınırlar içinde
16	13,5	28,0	18,7	3,5	11,7	Sınırlar dışında
17	15,1	22,9	19,5	1,9	15,7	Sınırlar içinde
18	15,0	22,3	18,8	1,9	18,0	$\pm 1\sigma$ içinde
19	13,6	31,0	19,6	3,2	17,5	$\pm 1\sigma$ içinde
20	15,2	32,0	19,4	3,6	16,0	$\pm 1\sigma$ içinde

Tablo 4. Geleneksel yöntemle elde edilen likid limit değerleri ile ters ekstrüzyon yönteminden elde edilen likid limit değerleri arasında karşılaştırma.

Numune No.	Likid Limit (Geleneksel yöntem)				Likid Limit (Ekstrüzyon yöntemi)	Açıklamalar
	Min.	Max.	Ort.	St. Sap.		
01	63,4	81,0	71,0	4,0	63,4	Sınırlar içinde
02	62,5	83,9	73,8	5,7	63,3	Sınırlar içinde
03	51,3	63,6	57,3	3,2	54,2	$\pm 1\sigma$ içinde
04	49,0	60,4	53,4	2,9	54,6	$\pm 1\sigma$ içinde
05	46,3	60,2	52,3	4,1	55,3	$\pm 1\sigma$ içinde
06	42,0	58,2	48,9	3,8	47,7	$\pm 1\sigma$ içinde
07	42,4	53,5	47,1	3,0	49,7	$\pm 1\sigma$ içinde
08	34,3	42,7	38,2	2,7	39,7	$\pm 1\sigma$ içinde
09	45,0	52,0	48,4	2,4	48,3	$\pm 1\sigma$ içinde
10	27,8	36,2	31,6	2,5	34,3	Sınırlar içinde
11	57,3	109,0	82,6	10,9	57,5	Sınırlar içinde
12	50,8	68,1	58,2	4,1	47,4	Sınırlar dışında
13	53,4	70,6	62,4	4,7	62,7	$\pm 1\sigma$ içinde

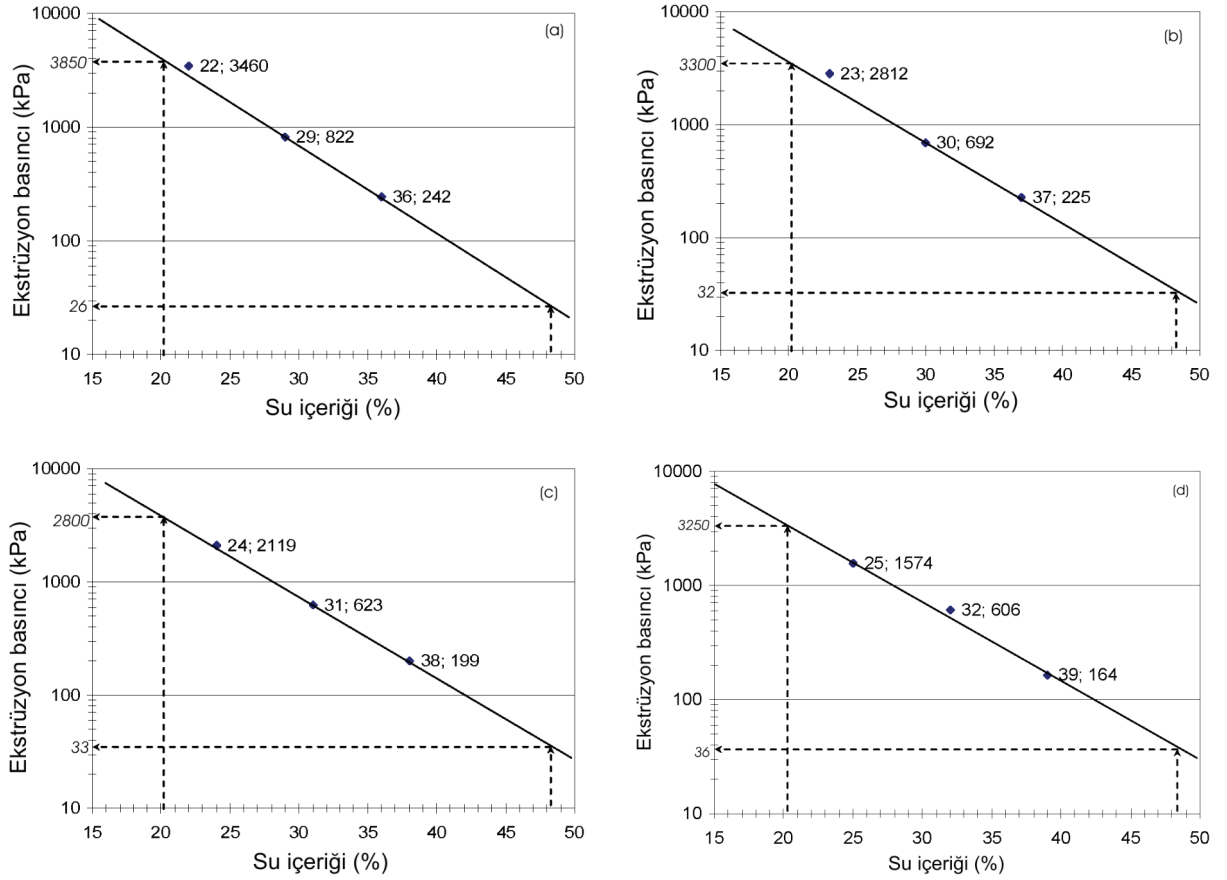
14	53,6	74,2	64,3	5,6	65,0	$\pm 1\sigma$ içinde
15	63,8	90,0	75,8	7,3	71,3	$\pm 1\sigma$ içinde
16	24,1	36,3	29,5	3,6	30,4	$\pm 1\sigma$ içinde
17	33,1	45,2	37,5	2,9	39,8	Sınırlar içinde
18	33,2	46,4	38,9	3,2	40,3	Within 1σ
19	35,4	55,1	39,1	4,5	37,8	Within 1σ
20	33,0	42,5	37,4	2,7	36,3	Within 1σ

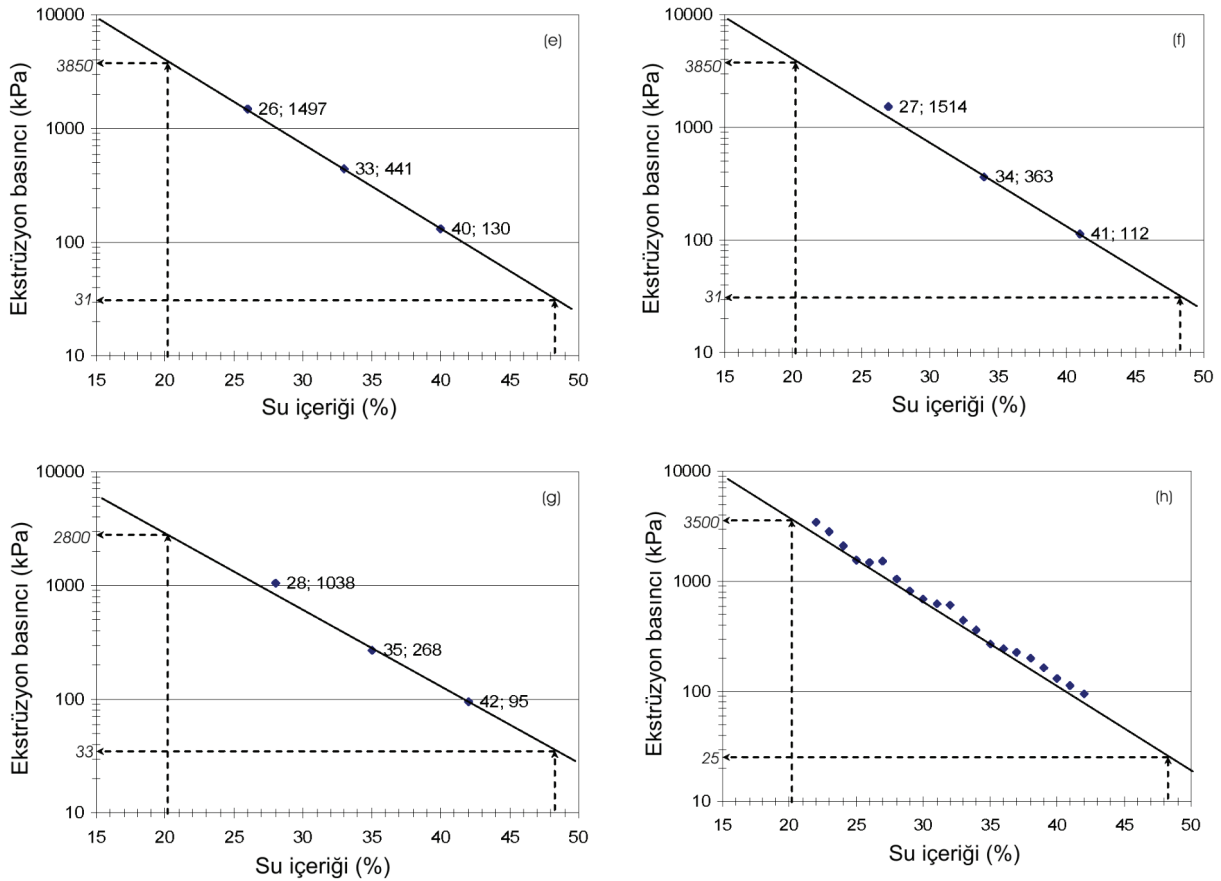
Tablo 3’de ve 4’deki karşılaştırmalar; temsilci ekstrüzyon basınçlarına karşılık gelen plastik ve likid limit değerleri geleneksel deneylerden elde edilen değerlerin bir standart sapması içinde, alt ve üst sınırları içinde ve alt ile üst sınırlar dışında kalacak biçimde yapılmıştır. Tablo 3 incelendiği zaman, ters ekstrüzyon yönteminden elde edilen plastik limit değerlerinin %60’ının geleneksel yöntemlerle elde edilen değerlerin $\pm 1\sigma$ aralığına düştüğü görülür. Ekstrüzyon tekniğinden elde edilen plastik limit değerlerinin %85’inin de geleneksel yolla elde edilen değerlerin alt ve üst sınırları aralığına düştüğü görülür. Likid limit için sonuç daha iyi olup (Tablo 4), ekstrüzyon yönteminden elde edilen likid limit değerlerinin %70’inin geleneksel yolla elde edilen likid limit değerlerinin $\pm 1\sigma$ aralığına düştüğü görülmektedir. Ekstrüzyon tekniğinden elde edilen likit limit değerlerinin %95’inin de geleneksel yolla elde edilen değerlerin alt ve üst sınırları aralığına düştüğü görülmektedir.

Bu çalışmanın nihai amacı Atterberg limitleri deneyleri için alternatif tek bir yöntem geliştirmektir. Geliştirilen yeni bir deney yönteminin güvenilir ve geçerli bir yöntem olabilmesi için, başta tekrar edilebilirlik ve diğer laboratuvarlarla karşılaştırılabilirlik olmak üzere birkaç açıdan teyid edilmesi gerekir. Bu kapsamda, incelenen numuneler arasında 9 numaralı zemin için tekrar edilebilirliğe yönelik bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bu amaca uygun olarak, 9 numaralı zemin numunesi üzerinde önceden belli su içeriklerinde ters ekstrüzyon deneyleri yapılmıştır. %22’den %42’ye varan su içeriği aralığında %1 artışlı tam yirmi bir adet deney yapılmıştır. Bu yirmi bir adet ekstrüzyon basıncı – su içeriği veri çiftinden uygun su içeriği aralıklarında üçer nokta seçilerek Şekil 7’de (a – f) grafik olarak sunulmuştur. Yirmi bir adet veri çiftinin tamamı da Şekil 7-h’de grafik halinde verilmiştir. Şekil 7’de diyagramlarda üçer nokta kullanılması maksatlı olarak yapılmış; öne sürülen yöntemin aynı zamanda rutin laboratuvar deneyi olarak kullanılması halinde asgari sayıda deneyin ne ölçüde güvenilir olduğu test edilmek istenmiştir. Şekil 7’de (a)’dan (f)’ye verilen diyagramlara bakıldığında geleneksel plastik limit deneylerinden elde edilen su içeriği değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçlarının 2800 ile 3850 kPa arasına düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde, geleneksel likid limit deneylerinden elde edilen su içeriği değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçlarının da 26 ile 36 kPa arasına düştüğü görülür.

Şekil 7(h)'de tüm sonuçlar için plastik limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncının 3500 kPa ve likid limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncının da 25 kPa olduğu dikkate alındığında, plastik ve likit limitleri belirlemede önerilen yeni yöntemin tekrarlanabilirliğinin hayli yüksek olduğu görülmektedir.

Sonuçlar üzerinde yükleme hızının önemli bir etkisi olup olmadığını gözlemek amacıyla da deneyler yapılmıştır. Bunun için yine 9 numaralı zemin numunesi kullanılmış ve 1, 3, 5, 7 ile 10 mm/dakika hızlarında deneyler yapılarak, belli su içeriklerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçları saptanmıştır. Bu durumda, 9 numaralı numune için geleneksel yolla elde edilen ortalama plastik limit değerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçlarının 3200 ile 4300 kPa arasına düştüğü; Şekil 7(h)'de 5 mm/dakika'lık yükleme hızında elde edilen 3500 kPa ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Geleneksel yolla elde edilen ortalama likid limit değerine karşılık gelen ekstrüzyon basınçları bu yükleme aralığında 22 ile 29 kPa arasında değişmektedir. Netice itibariyle, 1-10 mm/dakikalık aralığındaki yükleme hızının deney sonuçlarını fazla etkilemediği gözlenmiştir. Konu ile ilgili olarak gelecekteki araştırmalarda uygun yükleme hızı olarak 5 mm/dakika tavsiye edilir.





Şekil 7. Önerilen yöntemin tekrar edilebilirliğinin 9 numaralı numune üzerinde gösterilmesi.
(a)'dan (f)'ye: üç noktalı diyagramlar; (h) tüm noktaların bir arada gösterimi.

SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Atterberg limitlerinin yapıldığı iki deneye alternatif tek bir yöntem geliştirilmiştir.
- 2) Önerilen yöntem son derece basit, güvenilir, tekrar edilebilir ve ekonomiktir. Bir hazne ve bir pistondan oluşan basit deney düzeneği tipik bir tek eksenli veya üç eksenli basınç deney düzeneğine kolayca uyarlanabilir.
- 3) Önerilen yöntem, plastik limit için elle yuvarlamalı deney yöntemi ile likit limit için Casagrande düşürmeli tas yönteminde başlıca operatörden kaynaklanan birçok belirsizliği ortadan kaldırmaktadır.
- 4) Plastik limit, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon deney düzeneğinde 2250 kPa'ya karşılık gelen su içeriği olarak tanımlanmıştır.
- 5) Likid limit, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon deney düzeneğinde 30 kPa'ya karşılık gelen su içeriği olarak tanımlanmıştır.

6) Plastik olmayan (NP) zeminler, önerilen yeni deney tekniğinde delikten geçmemeleri (ya da zemin solucanı oluşturmamaları) ile ayırt edilmektedirler.

KATKI BELİRTME

Çalışmada kullanılan numunelerin geleneksel plastik limit ve likit limit deneyleri MB&Demir, Kaya-Zemin, Limit, Üç Eksen, Toker, Zemar-2000 ve Zemar-İstanbul zemin mekaniği laboratuvarlarında yapılmıştır. Yazarlar, katkılarından dolayı ilgili laboratuvar yetkililerine şükranlarını sunarlar.

KAYNAKLAR

- Dieter, G. E. (1988) *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill, ISBN-13: 978-0071004060, London.
- Johnston, M. M. and Strohm, W. E. (1968) Results of second division laboratory testing program on standard soil samples, *Misc. Paper 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station*, Vicksburg, MS.
- Lee, L. T. and Freeman, R. B. (2007) An alternative test method for assessing consistency limits, *Geotechnical Testing Journal*, 30(4), 1-8.
- Whyte, I. L. (1982) Soil plasticity and strength – a new approach for using extrusion, *Ground Engineering*, 15(1), 16-24.
- Wroth, C. P. and Wood, D. M. (1978) The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils, *Can. Geotech. J.*, 15(2), 137-145.