ATTEBERG LİMİTLERİNİN TAYİNİNDE CASAGRANDE, DÜŞEN KONİ VE EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer BEŞPARMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

> MART 2010 ANKARA

Ömer BEŞPARMAK tarafından hazırlanan ATTEBERG LİMİTLERİNİN TAYİNİNDE CASAGRANDE, DÜŞEN KONİ VE EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kamil Kayabalı Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yüksel YILMAZ İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 15 / 03 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

.....

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ömer BEŞPARMAK

ATTERBERG LİMİTLERİNİN TAYİNİNDE CASAGRANDE, DÜŞEN KONİ VE EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (Yüksek Lisans Tezi)

Ömer BEŞPARMAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ Mart 2010

ÖZET

Plastisite indeksi, zeminleri sınıflamada ve diğer bazı zemin parametreleri ile korelasyon yapmada kullanılan temel zemin özelliklerinden biridir. Geleneksel olarak, elle yuvarlama metodu plastik limitin tespitinde, Casagrande deney aleti ve düşen koni yöntemi ise likit limitin tespitinde kullanılan yöntemlerdir. Likit limitin ve plastik limitin tespitinde kullanılan deneyler, deneyi yapan kişiye ve deney aparatına bağlı olmak üzere birçok belirsizlikler içermektedir. Bu belirsizlikler dolayısıyla değerlerin, bu sapması plastisite indeksini etkilemektedir. Bu üç deneyin tekrar edilebilirliği ve deneyi yapan kişiler arasında karşılaştırılabilirliğinin genelde düşük olması, bu konuda alternatif yöntemler geliştirmek üzere çok sayıda girişimin olmasına yol açmıştır. Bu çalışmada onlardan biridir. Bu yöntemlere alternatif olarak ters ekstrüzyon vöntemi denenmiştir. Elle yuvarlama, Casagrande ve düşen koni yöntemlerindeki belirsizlikleri gidermek ve operatör bağımlılığını azaltmak için bir dizi ekstrüzyon deneyi yapılmıştır.

Çalışmada seksen sekiz adet örselenmiş zemin numunesi kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak ve kıvam limitlerine karşılık gelen en uygun ekstrüzyon gerilmelerini bulmak için aynı zeminlerle elle yuvarlama, Casagrande ve düşen koni deneyleri de yapılmıştır. Sonuçlar histogramlar halinde değerlendirildiğinde çalışmada kullanılan ekstrüzyon aparatı için plastik limite karşılık gelen gerilmenin ortalama 3000 kPa ve likit limite karşılık gelen gerilmenin ortalama 40 kPa olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu	: 911.1.050
Anahtar Kelimeler	: Atterberg limitleri, plastik limit, likit limit, düşen koni,
	Casagrande, ekstrüzyon
Sayfa Adedi	: 85
Tez Yöneticisi	: Prof.Dr.Murat MOLLAMAHMUTOĞLU

COMPARISION OF CASAGRANDE APARATUS, FALLING CONE AND EXTRUSION METHODS IN THE DETERMINATION OF ATTERBERG LIMITS (M.Sc. Thesis)

Ömer BEŞPARMAK

GAZİ UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY March 2010

ABSTRACT

Plasticity index is one of the main soil properties used to make correlation with some other soil parameters and in soil classification. Traditionally, hand rolling method is used to determine plastic limit. Moreover, Casagrande apparatus and falling cone methods are used to determine liquid limits. Methods used in liquid limit and plastic limit determination include many uncertainties depending on the person who perform experiment and the apparatuses used. Deviation of these values due to these uncertainties influence the plasticity index. Generally, due to the fact that repeatability of these two experiments is very low and comparability between persons, who perform the experiment, is difficult many attempts have been made for providing alternative methods. This study is also one of them. As an alternative to these methods inverse extrusion method has been proposed. A series of extrusion tests has been made to get rid of these uncertainties and to reduce the operator dependency of the hand rolling, Cassagrande Dropping Bowl and falling cone methods. For this aim, eighty eight different inorganic soil samples are used. Hand rolling, Casagrande apparatus and falling cone experiments are made with the same soil samples to compare the results and to obtain the optimal extrusion pressure corresponding to consistency limits. When the results are evaluated on histograms, the pressure corresponding to plastic limit is obtained roughly as 3000 kPa, and the pressure corresponding to liquid limit is obtained roughly as 40 kPa. by the equipment of this workout.

Science Code	: 911.1.050
Key Words	: Atterberg limits, plastic limit, liquid limit, fall cone,
-	Casagrande, ekstrusion
Page Number	: 85
Adviser	: Prof.Dr.Murat MOLLAMAHMUTOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince engin bilgi birikimi ve yüksek tecrübesiyle rehberlik eden sayın Prof. Dr. Murat Mollamahmutoğlu' na; tez kapsamındaki laboratuar çalışmalarında destek veren, deneylerin gerçekleştirilmesi ve tezin yazımı aşamalarında bilgisini, emeğini hiç esirgemeyen sayın Prof. Dr. Kamil Kayabalı' na; gece gündüz eğitimin devamlılığını sağlayan Gazi Üniversitesi ve Ankara Üniversitesi personeline; teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini esirgemeyen aileme, evde gece geç saatlere kadar beni sabırla bekleyen eşime ve on beş aylık kızıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca bana bu imkanları veren, bu günlere gelmemi sağlayan güzel ülkeme, devletime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER	6
3. DENEYSEL YÖNTEMLER	7
3.1. Plastik Limit (Elle Yuvarlama) Deneyi (ASTM D 4380)	7
3.2. Casagrande Deney Aletiyle Likit Limit Tespiti (ASTM D 4380)	9
3.3. Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limit Tespiti (BS 1377)	13
3.4. Ekstrüzyon Deneyi	15
4. DENEYSEL BULGULAR	22
4.1. Plastik Limit (Elle Yuvarlama) Deneyi Bulguları (ASTM D 4380)	22
4.2. Casagrande Deney Aletiyle Likit Limit Tespiti Deneyi Bulguları (ASTM D 4380)	25
4.3. Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limit Tespiti Deneyi Bulguları (BS 1377)	29
4.4. Ekstrüzyon Deneyine Ait Bulgular	35

Sayfa

5. SONUÇLAR	47
EKLER	49
EK-1 Ekstrüzyon deneylerinde kullanılan yükleme deney düzeneği	50
EK-2 Ekstrüzyon haznesi	50
EK-3 Ekstrüzyon haznesi bağlantı aparatı	51
EK-4 Ekstrüzyon pistonu	51
EK-5 Desikatörde 24 saat süreyle bekletilen zemin numuneleri	52
EK-6 Ekstrüzyon aleti yük ölçüm aparatı (load cell)	52
EK-7 Zemin solucanı ekstrüzyon haznesinden çıkarken	53
EK-8 Düşen koni deneyi sonuçları	54
EK-9 Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri	57
EK-10 Ekstrüzyon deneyi sonuçları	64
EK-11 Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler	67
EK-12 Casagrande Çarpmalı Aleti ile likit limit deneyi yapılışı	
EK-13 Düşen koni yöntemiyle likit limit deneyi yapılışı	
EK-14 Ekstrüzyon deneyi yapılışı	
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 4.1.	Zeminlerin (elle yuvarlama metodu ile) plastik limit değerleri	22
Çizelge 4.2.	Zeminlerin Casagrande deney aletiyle ile elde edilmiş likit limit değerleri	25
Çizelge 4.3.	Zeminlerin düşen koni ve Casagrande yöntemiyle elde edilmiş likit limit değerleri	30
Çizelge 4.4.	Plastik limit kıvamındaki zemin numunelerinin ekstrüzyon değerleri	36
Çizelge 4.5.	Casagrande deney aletiyle ile elde edilmiş likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri	40
Çizelge 4.6.	Düşen koni deneyinden elde edilmiş likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Casagrande deney aleti detayları	9
Şekil 3.2. Oluk açma bıçağı ve düşme yüksekliği ölçeği	10
Şekil 3.3. Ölçü bloğu detayları	10
Şekil 3.4. Limit tayininde kullanılan koni düşürme cihazı	13
Şekil 3.5. Direkt ve ters ekstrüzyon sürecinin basit çizimi	15
Şekil 3.6. Ekstrüzyon hücresi teknik resmi	18
Şekil 3.7. Ekstrüzyon pistonu teknik resmi	19
Şekil 3.8. Değişik su muhtevalı zeminde ekstrüzyon kuvveti-piston hareketi örnek grafiği	20
Şekil 4.1. Casagrande deney aletiyle bulunan likit limit değerlerine göre tespit edilmiş zemin sınıflarının sayısal dağılımı	28
Şekil 4.2. 41 numaralı CA2B zemin numunesine ait koni Penetrasyonu - su muhtevası yarı logaritmik grafiği	29
Şekil 4.3. Düşen koni deneyiyle elde edilen likit limitlerle hesaplanmış zemin sınıflarının sayısal dağılımı	32
Şekil 4.4. Casagrande deneyinden elde edilen likit limitlerle hesaplanmış zemir sınıflarının histogramı	1 33
Şekil 4.5. Düşen koni ve Casagrande deneylerinden elde edilen likit limit değerlerinin büyüklüklerinin karşılaştırılması	34
Şekil 4.6. Su içeriği-ekstrüzyon gerilmesi grafiği	35
Şekil 4.7. Plastik limitteki zemin numunelerine ait saptanan ekstrüzyon değerlerinin sayısal değer aralığı dağılımı	39
Şekil 4.8. Casagrande deneyinde elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerinin dağılımı	43
Şekil 4.9. Düşen koni deneyinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerin dağılımı	46

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Zeminlerin öğütülmesinde kullanılan öğütücü makine	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
mm	Milimetre
μm	Mikron
cm	Santimetre
g	Gram
sn	Saniye
c,m	Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen
	grafiksel eğrinin katsayıları
	Standart düşen koni kabındaki zemin örneğinin
	birim ağırlığı (g/cm ³)
W	Su muhtevası
d	Penetrasyon derinliği, mm
c _u	Kayma dayanımı
A_{f}	Zeminin çıkmaya zorlandığı deliğin alanı, cm ²
A ₀	Ekstrüzyon haznesinin kesit alanı, cm ²
Р	Ekstrüzyon kuvveti, kgf
⁰ C	Santigrad derece
k	Ekstrüzyon katsayısı
$R=A_0/A_f$	Ekstrüzyon haznesinin piston üzerindeki deliğe
	oranına bağlı katsayı
dk	Dakika
kPa	Kilopaskal
°⁄0	Yüzde

Simgeler	Açıklama
LI	Likitlik indeksi
LL	Likit limit
LL _{ca}	Casagrande deney aletiyle saptanmış likit limit
LL _{dk}	Düşen koni deney yöntemiyle saptanmış likit
	limit
МН	Yüksek plastisiteli silt
ML	Düşük plastisiteli silt
СН	Yüksek plastisiteli kil
CL	Düşük plastisiteli kil
PL	Plastik limit
Kısaltmalar	Açıklama
Kısaltmalar	Açıklama
Kısaltmalar ASTM	Açıklama American Society for Testing Materials
Kısaltmalar ASTM BS	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F log.	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Logaritma
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F log. Max.	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Logaritma Maksimun
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F log. Max. Min.	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Logaritma Maksimun Minimun
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F log. Max. Min. No	Açıklama American Society for Testing Materials British Standart Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Logaritma Maksimun Minimun
Kısaltmalar ASTM BS G.U.M.M.F Iog. Max. Min. No Ort.	AçıklamaAmerican Society for Testing MaterialsBritish StandartGazi Üniversitesi Mühendislik MimarlıkFakültesiLogaritmaMaksimunMinimunNumaraOrtalama

1. GİRİŞ

Birçok sektörde gerek yapı malzemesi hammaddesi, gerek bu yapıların üzerine yapıldığı dayanak noktamız olan zemin ve bu önemli yaşamsal unsur üzerinde çalışan bir bilim dalı olarak zemin mekaniği; günümüze kadar yapılan çalışmalarda, özellikle ince daneli zeminlerin mühendislik davranışının su içeriği ile çok ilişkili olduğunu göstermiştir. Terzaghi bu konuda "su olmayan gezegende zemin mekaniğine gerek olmazdı" diyerek suyun zeminler için ne kadar önemli olduğunu net bir biçimde ifade etmiştir. Zeminlerin su içeriği zeminin bir sıvı gibi davrandığı bir uç durumdan, zeminlerin kuru olduğu diğer uç duruma kadar geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Bu aralıkta belirli geçiş noktalarındaki su içerikleri likit, plastik ve büzülme limiti olarak adlandırılmaktadır. Bu limitlerin tespiti için laboratuarda kullanılan geleneksel metotlar, bazı belirsizlikleri beraberlerinde getirmelerine rağmen, hala en yaygın yöntemler olarak kullanılmaktadırlar. Bu limit değerlerin tayininde sonuçlarda oluşan farklılıklar çoğu zaman aynı zemin türü için farklı laboratuarlarda deney yapılmasıyla veya deneyi gerçekleştiren operatörlerin değişmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Plastik limitin geleneksel yöntemle tayini, zemin numunesi el ile düz bir satıh üzerinde 3 mm çapa kadar yuvarlanarak ilk kılcal çatlakların gözlemlenmesinden ibaret bir yöntemdir. Zeminin elle temas yüzeyi genişliğinin çapına oranının farklılaşması, yuvarlama hızının kişiden kişiye farklı olması, çatlak oluşma anı tespitinin subjektif bir temele dayanması, deneyin sonuçlarındaki tutarsızlıkları artırmaktadır.

Düşen koni ile plastik limitin saptanmasında bu güne kadar birçok yöntem denenmiştir. Skempton ve Northey (1953), plastik limitteki zeminlerin drenajsız kayma dayanımlarının, likit limitteki zeminlerin drenajsız kayma dayanımlarına olan deneysel oranını 100 olarak belirlemişlerdir [1]. Whyte (1982) ise bu oranın 70'e yakın bir değer olarak alınmasını önermiştir [2].

Karlsson (1961), bu oranın İsveç killeri için 50'den 100'e kadar değişik değerler aldığını ve hassas killer için bu oranın yaklaşık 200 olduğunu belirtmiştir [3]. Sherwood (1970), daha önce yapılmış plastik limit deney sonuçları ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ortalama plastik limiti (%23) olan bir kil, birçok laboratuarda klasik plastik limit testine tabi tutulmuş ve alınan değerlerin %19 ile %39 değer aralığında değiştiği görülmüştür. Ayrıca drenajsız kayma dayanımlarının 20 - 320 kPa arasında olduğu belirtilmiştir [4,5,6].

Towner (1973) ve Belviso (1985), plastik limitteki zeminlerin kayma dayanımının tespiti için 100 farklı noktada deney yaparak deney sonuçlarını bir yarı logaritmik grafiğe aktarmışlar ve elde ettikleri sonuç doğrusudan bir eğim belirlemişlerdir. Bu eğimi plastisite indeksi olarak kabul etmişlerdir [7,8]. Wood ve Worth 1978 yılında İngiliz standardındaki (BS 1377) 30° uç açısına sahip koniyi, iki farklı ağırlık değeriyle (80 g ve 100 g) kullanarak deneyleri gerçekleştirmiş ve bu deneylerin penetrasyon değerlerini bir yarı logaritmik grafik üzerine işlemişlerdir [9,10]. Whyte (1982), plastik limitteki zeminlerin su muhtevalarında yüzde ± 1 ve drenajsız kayma dayanımlarında yüzde ±42 hata olabileceğini göstermiştir [2]. Sivapullaiah ve Sridharan (1985), LL değeri BS 1377 düşen koni standardına uygun olarak bulunmuş bir zeminin, PI ve PL değerleri için bir eşitlik önermişlerdir [11,12]. Wasti ve Bezirci (1986), yaptıkları deneylerin sonuçları için, plastik limitteki su muhtevalarında ve drenajsız kayma dayanımlarında %±3 hata payı olduğunu rapor etmiştir [13]. Harison (1988), düşen koniden elde ettiği penetrasyon değerlerinden, 5 - 14 mm arasında olan penetrasyon değerleri için yarı logaritmik bir grafik ve 14 - 25 mm değer aralığında olan penetrasyon değerleri içinde ayrı bir yarı logaritmik grafik oluşturmuştur. 5 - 14 mm arasında bulduğu değerler için belirlediği en uygun doğruyu 2 mm penetrasyon değeriyle kesiştirdiğinde elde ettiği su muhtevasını plastik limit değeri olarak önermiştir [14]. Koester (1992) düşen koni ile likit limit değerleri tespit edilen zeminlerin 2 mm penetrasyon değerine karşılık gelen su muhtevalarının tespiti için bir ekstrapolasyon yöntemi önermiştir [15].

Feng (2000) BS 1377 standartına göre yaptıkları deneylerle bir log-log grafik üzerinde su muhtevasına karşı penetrasyon değerlerini işlemişlerdir ve $PL= c(2)^m$ gibi bir parametre üretmişlerdir. c ve m yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen grafiksel eğrinin katsayıları olarak bulunmuştur. Feng (2004) BS 1377 standardıyla (30^0 koni ucu ve 80 gr ağırlıklı) yaptığı deneylerdeki 3 mm ve 5 mm aralığındaki penetrasyon değerleriyle türettiği $PL=w(2/d)^{0.265}$ eşitliğinin kullanılabilir olduğu aralık, doğal zeminlerin likit limit değerlerinin %85 değerinden düşük olduğu aralık olarak belirtilmiştir [16,17].

Lee ve Freeman (2007), yoğrulmuş zeminlerin plastik limitini belirlemek üzere öne sürülen on farklı deneysel tekniği karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Ayrıca çift ağırlık düşen koni metodunu geliştirmiş ve bu metoda dair eşitlikler belirlemiş ve grafikler oluşturmuşlardır [18].

Casagrande Aleti ile yapılan likit limit deneylerinde de plastik limitin tespitinde olduğu gibi, farklı operatörlerin deneyi gerçekleştirmesinden (düşürme devir hızının farklılaşması) ve bu operatörlerin deneyleri gerçekleştirirken aynı hassasiyeti göstermemelerinden kaynaklanan hatalar oluşabilmektedir. Ayrıca zeminlerin içeriklerinin de deney sonuçlarını etkilediği gözlemlenmiştir. Casagrande (1932), organik malzemelerin de likit limit değerini oldukça etkilediğini belirtmiştir. Warkentin (1961), artan tuz konsantrasyonun zeminlerin likit limitlerini düşüreceğini belirtmiştir. Winslow ve Gates (1963) montmorolinit içeren zeminlerin testten önce 24 saat bekletildiğinde daha düşük bir likit limit değeri verdiğini gözlemlemişlerdir [19,20,21,22].

Karlson (1977), Casagrande ve düşen koni metotlarının her ikisinin de siltli zeminlerde dilatasyon etkisi nedeniyle kesin olmayan sonuçlar verebildiklerini ortaya koymuştur [23]. Nagaraj ve Jayadeva (1981), tek nokta düşen koni deneyiyle buldukları sonuçların değerlendirilmesinde kullanılacak alternatif olarak LL=w/0.77log(d) gibi bir eşitlik sunmuşlardır [24].

Likit limit tayininde Nagaraj (1987), ıslak kap yoğunluk metodunu basit bir yöntem olarak öne sürmüştür. Bu deney düşen koniyi kullanarak su muhtevası bulunmadan yapılan bir deneydir (ayrıca zemini kurutmaya da gerek yoktur). Özgül ağırlığın 2,7 ve suya doygunluğun %98 olduğu kabul edilir. Burada deney sonucunda bulunan likit limit değeri direk su muhtevası değeri olarak kabul edilir. Deney standart 20 mm penetrasyon değeriyle yapılır. Zemin numunesi içerisine konulduğu düşen koni kabıyla beraber tartılır. Deney sonunda zeminin su muhtevası w=(1-0.37)/(1.2 -1) eşitliğinden hesaplanır [25].

Kumar ve Muir Wood (1999), düşen koni deneyinde kaolinit killerin ince kumlarla olan karışımlarında likit limit değerinin kil oranıyla beraber lineer olarak %30-%40 oranında azaldığını belirtmiştir [26]. Parakash ve Sridharan (2002), likit limitleri %20 ve %120 değerleri arasında olan zeminler için, eşit sediment hacmi metodu olarak adlandırdıkları bir deney metodu sunmuşlardır [27]. Lee (2004), üzeri açık bir silindirle (likit limit değeri 50 ile 150 arasındaki tipik plastik killer) herhangi bir su muhtevasındaki zeminlerin düşey deplasmanlarından yararlanarak süratli bir şekilde likit limit değerlerinin saptanması için geliştirilmiş olan silindirik slamp deneyi metodunu önermiştir [28]. Lee ve Freeman (2007) yoğrulmuş zeminlerin likit limitini belirlemede kullanılan 8 adet deneysel yöntemi irdelemişlerdir [18].

Ekstrüzyon, katı blok bir metalin yüksek basınç altında zorlanarak bir delikten geçirilmesi ile istenilen metal kesitinin sağlanması işlemidir. Ekstrüzyon yöntemini zemin mekaniğinde ilk olarak Timar (1974) kullanmıştır. Fakat yöntem olarak direk ektrüzyonu kullanması, itici pistonla zemin hücresi arasında oluşan sürtünme kuvvetleri sonuçların değerlendirilmesinde ona problemler yaşatmıştır [29]. Ters ekstrüzyon yönteminin zemin indeks değerlerinin saptanmasında kullanılabileceğini ilk olarak Whyte (1982) ortaya koymuş; bu metoda dair araçlar ve detayları geliştirmiştir [2]. Medhat ve Whyte (1986), Flixton kili üzerinde yaptıkları seri deneyler sonrasında önceki eşitliğe göre çok az bir farklılık içeren bir eşitlik önermişlerdir [30].

Kayabalı ve Tüfenkçi (2008), yirmi adet zemin numunesi üzerinde yaptıkları seri Atteberg limitleri ve ters ekstrüzyon deneyleri sonucunda Atterberg limitlerinin bulunduğu iki deneye alternatif tek bir yöntem geliştirilmiştir.İnce daneli zeminlerin plastik limit değeri için, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon düzeneğinde 2250 kPa değerini önermişlerdir. Likit limit değeri için işe 30 kPa değeri önermişlerdir [31].

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010a), 31 adet doğal numune üzerinde yaptıkları deneylerde plastik limit su muhtevasındaki zeminlerin ekstrüzyon değerlerinin genellikle 2500 - 3000 kPa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir [32]. Likit limitteki zeminlerin ekstrüzyon değerlerinin ise 30 - 40 kPa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. İnce daneli zeminlerin plastik limit ve likit limit değerleri için kabaca 3000 kPa ve 35 kPa değerlerinin kullanılabileceğine değinmişlerdir [32].

Araştırmacılar, daha güvenilir değerlerin elde edilebilmesi için, önerdikleri yöntemin daha geniş bir veritabanı ile irdelenmesini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca deneye tabi tuttukları ince daneli zemin numunelerinin likit limitteki ve plastik limitteki drenajsız kayma dayanımları için ortalama 2.3 kPa ve 180 kPa değerlerini saptamışlardır [33].

Bu çalışmanın amacı, zeminlerin plastik ve likit limitlerinin tayininde kullanılan ters ekstrüzyon deneyini daha geniş bir veritabanı ile tekrar değerlendirmek; Kayabalı ve Tüfenkçi (2010b) tarafından önerilen ve likit limit ile plastik limite karşılık gelen ekstrüzyon gerilme değerlerini rafine etmektir. Buna ek olarak, çalışmanın bütünlüğü açısından, düşen koni yöntemiyle elde edilen likit limiti ters ekstrüzyon yönteminden elde edilen likit limit ile deneştirmektir.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Tez çalışmasında yapılacak deneyler için Ankara'nın Etimesgut, Eryaman, Sincan, Yüzüncüyıl, Çukurambar semtlerinde, Mustafa Kemal Paşa Mahallesi civarında bulunan inşaatların temellerinden ve yol yarmalarından açığa çıkmış zeminlerden, organik madde içermeyen, tamamen inorganik numuneler alınmış ve laboratuara nakledilmiştir. Numunelerin alınma yerlerinin farklı bölgelerden seçilmesinin nedeni, alınan zemin gruplarının plastiklik derecelerinin yelpazesini geniş tutmaktır. Bu sayede deney sonuçlarının daha geniş bir aralıkta sunulması amaçlanmıştır. Getirilen çuval numuneleri 105±5°C sabit sıcaklık sağlayabilen etüvde sırayla tepsilere konularak en az 24 saat süreyle kurutulmuştur.



Resim 2.1. Zeminlerin öğütülmesinde kullanılan aparat

Her bir zemin türü laboratuarda öncelikle iki kısma ayrılmış ve Resim 2.1'de görülen öğütme makinesiyle öğütülmüştür. Makine, elle dövme gibi yorucu ve uzun süreli emek isteyen bir işi çok büyük oranda kolaylaştırmaktadır. Öğütülen zeminlerin bir yarısı 425 µm (40 no'lu) elekten diğer yarısı ise 75 µm (200 no'lu) elekten elenmiş, eleklerden geçen kısımları alınmıştır. Toplamda 88 farklı zemin numunesi elde edilmiştir. İki farklı elek açıklığında elemek, deneysel çalışmada numune çeşidinin artırılmasına destek olmuştur.

3. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu bölümde tez çalışması boyunca kullanılmış deneysel yöntemler, Amerikan (ASTM D 4380) ve İngiliz (BS 1377) standartlarına geçmiş, kıvam limitlerinin tayini ile ilgili üç farklı deney metoduyla; zemin mekaniğine uyarlamaları Whyte (1982) tarafından önerilmiş, ters ekstrüzyon deney yöntemidir.

3.1. Plastik Limit (Elle Yuvarlama) Deneyi (ASTM D 4380)

Bu deney, zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu, su muhtevasının ölçülmesi ile ilgilidir [34].

Gerekli araç gereç: Kalınlığı en az 1 cm, bir kenarının uzunluğu en az 30 cm olan, kare biçiminde ve düz yüzeyli olan cam plaka, boyutları standartta belirtilmiş akrilikten yapılmış olan plastik limit yuvarlama aleti (mevcutsa kullanılması önerilir), boyu 10 - 13 cm kalınlığı 2 cm olan spatula, 200 mm çapında ve 425 μm (40 no'lu) göz açılıklı standartta belirtilen nitelikte elek, deliklerinin üzerinde en az 5 cm yüksekliğinde bir hacim olan ayrıca aynı nitelikte 2 mm (10 no'lu) göz açıklıklı elek olan elek ve tavası, zemine kontrollü bir şekilde su karıştırabilecek ve ince malzemeyi uzaklaştırabilecek nitelikte olan su kabı (piset), zemin kurutma işlemi için 105±5°C sabit sıcaklık sağlayabilecek nitelikte olan etüv, en az 7.6 cm derinliğinde ve üs çapı en az 20.3 cm çapında yıkama kabı deney için gereklidir [34].

Gerekli malzemeler: Minerallerinden ayrıştırılmış, dinlendirilmiş saf su kullanılmalıdır.

Deneyin yapılışı: Likit limit deneyi için hazırlanmış 425 µm'lik elekten geçen numunenin, ikinci kez karıştırılmış ya da deney sonunda kalan kısmından yaklaşık 20 - 30 g kadar alınır. Numune homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plâstik olana dek, cam plâka üzerinde, damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulur. Bu şekilde hazırlanmış numune, yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölünür [34].

Bunlara yeniden top biçimi verildikten sonra, bir danesi 3 mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alana kadar, cam plâka ile el ayası arasında yuvarlanır. Numunenin çapı yaklaşık 3 mm olduğu anda çatlama ve kopma belirmemişse, zemin tekrar topak haline yoğrulur ve yeniden yumrulanır. Çap tam 3 mm'ye indiği anda, yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene değin bu işlem sürdürülür [34].

Çapın doğru olarak belirlenmesinde, karşılaştırma ölçeği olarak bir metal çubuk kullanılır. Numunenin dağılan parçaları toplanıp bir numune kabına konulur ve su muhtevası ölçülür. Ölçüm için alınan numunenin yaş haldeki kütlesi en az 10 g olmalıdır. Diğeri ise daha sonra denenmek üzere paslanmaz ve hava geçirmez bir kap içerisine konur. Yukarda belirtilen işlemler, başlangıçtaki numunenin ikinci yarısı için tekrarlanır. Bulunan su muhtevalarının ortalaması, zeminin plâstik limiti (PL) olarak kabul edilir ve % olarak en yakın 0.1 hanesine yuvarlatılarak verilir [34].

3.2. Casagrande Deney Aletiyle Likit Limit Tespiti (ASTM D 4380)

Bu metot havada kurutulmuş zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup, doğal su muhtevasındaki zeminlere uygulanabilir.

Gerekli araç gereç: Casagrande Çarpmalı Aleti (standartta belirtilen özellikte), pirinçten bir kabın, düşürme kolu yardımıyla kauçuk temele düşürülmesinden oluşan mekanik bir alettir (tüm parçalarına ait detaylar standartta verilmiştir).



Şekil 3.1. Casagrande deney aleti detayları [34]

Şekil 3.1'de alete ait temel detaylar ve kritik boyutlar verilmiştir. Alet elle veya bir çevirici motor yardımıyla kullanılabilir. Motor, çarpmalı aletin düşürme kolunu saniyede 2±0.1 düşü sayısında çevirebilecek devri sağlayacak, motor çalışırken oluşan titreşimleri çarpmalı aletin parçalarına aktarmayacak, düşürme yüksekliklerini bozmadan her an durdurulabilecek bir açma kapama düğmesi bulunan ve düşürme sayısını sayan bir sayacın bulunduğu şekilde tasarlanmış olmalıdır.



Şekil 3.2. Oluk açma bıçağı ve düşme yüksekliği ölçeği [34]

Şekil 3.2'de belirtilen ölçülerde paslanmaz metalden ya da plastikten yapılmış bir oluk açma bıçağı görülmektedir. Bu alete ait tasarımsal boyutlar belirtilen aralıkta değişebilir. Eğer gerek duyulursa, oluk açma bıçağı aletin düşürme yüksekliğinin ayarlanması için de kullanılabilir.



Şekil 3.3. Ölçü bloğu detayları

Şekil 3.3'de ölçüleri verilen metal ölçme bloğu ile ölçümler alınırken temelin düz olmasına, hareketli parçaların oynamamasına, ölçüm yüzeylerinin tümüyle düz tutulmasına dikkat edilmelidir.

2.5 cm derinliğinde ve 5 cm çapında olan paslanmaz metalden ya da alüminyumdan yapılmış ve bunları tam olarak kapatabilen kapakları olan küçük su muhtevası kapları bulundurulmalıdır. Özellikleri D 4753 standardında belirtilmiş olan ve 0.01 gr hassasiyetli olan terazi kullanılmalıdır. Zemin numunesini suyla karıştırabilmek için ve karıştırılan numuneyi içinde saklayabilmek için gerekli zemin saklama ve karıştırma kapları, karıştırma sırasında zemine ait özellikleri bozmayacak ve saklama süresince zeminin su muhtevasını kaybettirmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır.

Cihazın Ayarlanması: Likit limit cihazının her deneyden önce temiz, kuru ve iyi çalışır durumda olup olmadığı denetlenmeli, pirinç kabın serbestçe düşebilmesine ve menteşede yan oynamaların gereğinden çok olmamasına özen gösterilmelidir. Deney sırasında likit limit cihazı kabının kaldırılacağı yükseklik, kap en yüksek durumuna getirildiği zaman, 1 cm kalınlığındaki mastar ölçeğin kap ile taban arasından kılı kılına geçebileceği biçimde ayarlanmalıdır. Ayrıca, deney aletine ait tüm parçaların yıpranma miktarlarının standartta verilmiş olan ölçüler içerisinde olduğu kontrol edilmelidir [34].

Deneyin Yapılışı: 425 mikronluk elekten elenmiş yeteri kadar malzeme karıştırma kabında suyla çamur haline getirilir ve numune homojen bir görünüm alana kadar karıştırılır. Numune bu haliyle desikatöre konulur ve bir gün sonra alınır, karıştırılır. Bu işlem en az 10 dakika sürmekte, güçlü killerde ise 40 dakikaya kadar uzayabilmektedir. Öncelikle Casagrande Çarpmalı Aleti'nin düşü yüksekliği kontrol edilir. Aletin düşme yüzeyine değip değmediği tespit edilir. Bir miktar malzeme aletin kabına konulur. Kabın ön tarafındaki en düşük nokta seviyesinde tüm yüzey tesviyelenir. En derin malzeme yeri 8 mm olacak şekilde yerleştirildikten sonra, oluk açma aparatıyla düz bir eksen şeklinde zemin ikiye ayrılır.

Bu işlem sonrasında kabın tabanı bir düz çizgi şeklinde görülmelidir. Daha sonra aletin kolu çevrilerek saniyede 2±0.1 kere düşürülme işlemi yapılır. Ayrı iki zemin kütlesi birleşip, birleşen bölüm 1.3 cm civarında bir değere geldiğinde işlem durdurulur ve düşüş sayısı okunup kaydedilir.

Düşürme sayılarının birinin 25 - 35 arası bir değer, diğeri için 20 - 30, bir diğerinin de 15 - 20 düşürme sayısı aralığına yakın değerlerde olması deney için idealdir. Her bir okuma sonrası iki zemin bölümünün birleştiği yerden 10 g civarı numune alınır ve su muhtevası tespit edilir. Kap tamamen temizlenir ve kurulanır. İşlem zemine yeniden su eklenip tekrarlanır. Deney beş farklı su muhtevasında yapılır ve değerler su muhtevasına karşılık düşü sayısı olarak yarı logaritmik bir grafik oluşturulur. Grafikte 25 düşü sayısına tekabül eden su muhtevası değeri, likit limit değeri olarak okunur [34].

3.3. Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limit Tayini (BS 1377)

Bu metot, havada kurutulmuş zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup, doğal su muhtevasındaki zeminlere uygulanabilir.



Şekil 3.4. Likit limit tayininde kullanılan koni düşürme cihazı [35]

Gerekli araç gereç: Görünümü Şekil 3.4'de verilen tipe uygun olan penetrometre, paslanmaz çelik veya duralaminden yapılmış, 35 mm boylu, yüzeyi cilalı, tepe açısı $30 \pm 1^{\circ}$ olan koni, düz tabanlı 55 mm çaplı ve 40 mm derinlikte metal kap, en az 150 mm çapında porselen pota, damıtık suyla dolu yıkama şişesi (piset) bulundurulmalıdır [35].

Deneye hazırlanmış zemin örneklerinin su muhtevalarını kaybetmeden saklanabilmesi için desikatör ve zeminin deney kabına yerleştirilmesinden sonra yüzeyini tesviyelemek amacıyla kullanılacak çelik cetvelde bulundurulmalıdır. Ayrıca, su muhtevası deneyi için gerekli araç gereçler de kullanılacaktır [35].

Deneyin Yapılışı: 425 mikronluk elekten elenen yeteri kadar malzeme suyla ıslatılıp çamur hale getirildikten sonra homojen karıştırılıp, desikatöre bir gün bekletilmek üzere konulur. Deneylere operatörce belirlenen nispeten düşük su muhtevasından başlanıp likit limit kıvamına doğru artırılarak devam edilir. Numune ertesi gün desikatörden alınarak en az 10 dakika süre ile karıştırılır. Bazı ağır killerde bu süre 40 dakikaya kadar çıkabilir. Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca yerleştirilir. Yüzeyi çelik cetvelle tesviyelenir ve penetrometre tabanına konulur. Koni kaptaki zeminin yüzeyini belirsiz bir şekilde çizecek seviyeye indirilir. Mikrometre sıfır okuması alınır. Sonra koniyi serbest bırakacak düğmeye basılır ve süre (5±1 sn) beklenir. Süre sonunda son mikrometre okuması alınır. İki okuma arası fark koni penetrasyon değeridir. Koni kaldırılıp dikkatle temizlenir. Kaba, biraz daha çamur eklenerek yüzeyi düzeltildikten sonra deney tekrarlanır ve bu okuma değeri diğerinden 0.5 mm küçük ya da 1 mm büyük çıkarsa, bir üçüncü deney yapılır. Deneylerde 1 mm civarı bir değer değişimi yakalanırsa, her bir denemede 20 g malzeme alınır ve su muhtevaları tespit edilir. Değerlerin ortalaması alınır. Eğer fark 1 mm den fazla ise örnek kap dışına alınır ve tekrar karıştırılıp deney tekrarlanır. Deney, değişen su muhtevaları için tekrarlanır ve bu deney 15 mm ve 25 mm penetrasyon değerleri arasında yapılır. 20 mm penetrasyon değerine karşılık gelen su muhtevası likit limit değeri olarak kabul edilir. Bu değer değişik su muhtevaları için çizilmiş lineer grafikten okunur [35].

3.4. Ekstrüzyon Deneyi

Ekstrüzyon, katı blok bir metalin yüksek basınç altında zorlanarak bir delikten geçirilmesi ile istenilen metal kesitinin sağlanması işlemidir. Genelde silindirik çubukların ya da boru şeklinde içi boş cidarlı kesitlerin oluşturulmasında kullanılır. Ekstrüzyon aynı zamanda farklı kesitteki kolay şekil verilebilir metallerin (alüminyum v.b.) üretiminde de rahatlıkla kullanılabilir [36].



Şekil 3.5. Direkt ve ters ekstrüzyon sürecinin basit çizimi

Direkt ve ters ekstrüzyon (indirekt ekstrüzyon, ya da geri ekstrüzyon) (Şekil 3.5) olmak üzere iki çeşit ekstrüzyon vardır. Direkt ekstrüzyonda zemin, bir hazne içerisine yerleştirilir ve piston tarafından deliğe doğru iteklenir. Pistonun sonunda zeminle temas eden bir metal plaka ya da yapay blok bulunur. Bu sayede iteklenen zemin numunesi delikten çıkmaya zorlanır. İkinci tip ekstrüzyonda ise (ters ekstrüzyon) içi boş bir pistonun önüne yerleştirilen plaka ortasında istenilen kesitteki delik bulunmaktadır. Haznenin diğer ucu tamamen bir plakayla kapatılmıştır. Bu sayede piston hareket ettiğinde zemin numunesi piston üzerindeki delikten çıkmaya zorlanacak ve ekstrüzyon tersten gerçekleşmiş olacaktır. [36].

Dieter (1988)' in önerdiği eşitlikte malzemenin ilk kesit alanı (haznenin alanı) A_0 ve geçeceği deliğin kesit alanı A_f olarak tanımlanmıştır. Eşitlik, bu alanlarının oranının (R= A_0/A_f) doğal logaritmasının, ekstrüzyon basıncıyla direk ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

$$Pe = kA_0 \ln A_0 / A_f \tag{3.1}$$

Burada;

k = gerilme akışına, homojen olmayan deformasyonlara ve sürtünmelere bağlı
deneysel hataların giderilmesi için kullanılan ekstrüzyon katsayısıdır.

Ekstrüzyon yöntemini zemin mekaniğinde ilk olarak Timar (1974) kullanmıştır. Fakat yöntem olarak direkt ekstrüzyonu kullanması, itici pistonla zemin haznesi arasında oluşan sürtünme kuvvetleri sonuçların, değerlendirilmesinde ona problemler yaşatmıştır [29]. Ekstrüzyon yönteminin zemin indeks değerlerinin saptanmasında kullanılabileceğini ilk olarak Whyte (1982) ortaya koymuş ve bu metoda dair araçlar ve detayları geliştirmiştir. Düşük plastisiteli killer üzerinde gerçekleştirdiği çalışmalar sonunda deney sonuçlarına ait bir grafik elde etmiş ve bu grafiğe ait en uygun eğriyi Eş. 3.2'deki gibi önermiştir [2] :

$$Pe = c_u \left(1.6 + 4.3 \ln R \right) \tag{3.2}$$

Burada;

 $P = ekstrüzyon kuvveti, c_u = drenajsız kayma gerilmesi [2].$

Methad ve Whyte (1986), bu konu ile ilgili yaptıkları bir diğer çalışmada, Flixton kili için kullandıkları deney aletinden kaynaklanan ufak değişiklerle başka bir eşitlik (Eş. 3.3) önermişlerdir [30].

$$P = c_u \left(0.5 + 5.8 \ln R\right) \tag{3.3}$$

Kayabalı ve Tüfenkçi (2008), Ankara ili çevresinden aldıkları yirmi adet farklı zemin numunesi üzerinde yaptıkları seri deneylerle, zeminlerin kıvam limitlerinin tespitinde geleneksel yöntemlere alternatif tek bir yöntem olarak ekstrüzyon yöntemini kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarında detaylarını Whyte (1982)'ın geliştirdiği, 38 mm çapında ekstrüzyon haznesinden ve 6 mm çapında olan delikten oluşan, ters ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Deneylerin sonuç değerlerini bir yarı logaritmik grafiğe aktarmışlar ve her bir zemin numunesi için ekstrüzyon basıncıyla değişen su muhtevalarının arasında lineer bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Geleneksel metotlarla elde edilen kıvam limitleri deneylerinden alınan sonuçlarla karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmışlar ve ince daneli zeminlerin plastik limit değeri için 2250 kPa değerini ve likit limit değeri için ise 30 kPa değerini önermişlerdir [31].

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010a) yaptıkları diğer seri deneylerde otuz bir adet zemin numunesini aynı yöntemle değerlendirmişler ve zeminlerin plastik limit değeri için 2000 - 3000 kPa değer aralığını (ekstrüzyon gerilmesi) ve likit limit değeri için ise 30 - 40 kPa değer aralığını vermişlerdir. İnce daneli zeminlerin plastik limit ve likit limit değerleri için kabaca 3000 kPa ve 35 kPa değerlerinin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir [29]. Önerilen yöntemin son derece basit, güvenilir, tekrar edilebilir, ekonomik olduğunu savunmuş ve geleneksel yöntemlerin belirsizliklerini ortadan kaldırabileceğini vurgulamışlardır [31].

Araştırmacılar, önerdikleri yöntemin daha geniş bir veritabanı ile irdelenmesini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca, yaptıkları bir başka çalışmada (Kayabali ve Tüfenkçi, 2010b) deneye tabi tuttukları ince daneli zemin numunelerinin likit limitteki ve plastik limitteki drenajsız kayma dayanımları için ortalama 2.3 kPa ve 180 kPa değerlerini saptamışlardır [33].

Deney için gerekli araç gereç ve deney aletinin detayları: Deneyin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yükleme hücresi (load cell) denilen zamanla yük değişimini hassas bir şekilde ölçebilen aleti bulunduran veya bu aletin görevini yerine getirebilecek bir aparatı bulunan yükleme düzeneği (EK-1) olmalıdır.

Yükleme hızına bağlı değişen basınç kuvveti değerlerini, yükleme hücresine bağlı dijital ekrana yansıtabilmedir. Ya da belirli aralıklarda okunacak basınç kuvveti değerlerini kullanıcının zorlanmadan okumasını sağlamalıdır. Yükleme hücresinin yük kapasitesinin 1000 kg ve üzeri değerlerde olması deneylerin daha düşük su muhtevalarında yapılabilmelerini sağlayacaktır. Deney aletinin yükleme hızının değişkenliği deneylerde kolaylıklar sağlayacaktır. Ekstrüzyon deneyi için üç eksenli basınç deneyi aleti de ufak değişikliklerle kullanılabilecektir.



Şekil 3.6. Ekstrüzyon hücresi detayları

Zeminin deney anında içinde bulunacağı 38 mm çaplı ekstrüzyon haznesi (EK-2), paslanmaz çelikten ya da benzer dayanımda paslanmayacak yüzey pürüzlülüğü düşük metalden yapılmıştır. Ekstrüzyon haznesine ait teknik detaylar Şekil 3.6'da verilmiştir. Ekstrüzyon hücresinin makinaya bağlanabilmesi için bir ara aparat olan ve paslanmaz çelikten ya da benzer dayanımda metalden yapılmış bağlantı aparatı bulunmaktadır. (EK-3).



Şekil 3.7. Ekstrüzyon pistonu detayları

Ekstrüzyon haznesine yerleştirilmiş numuneyi makineden gelen itmeyle, üzerinde bulunan 6 mm çapındaki delikten çıkmaya zorlayacak şekilde tasarlanmış ekstrüzyon pistonunun (EK-4) teknik detayları Şekil 3.7'de verilmiştir. Ayrıca, deneye hazır halde bulunan zemini suyla buluşturacak ve homojen bir karışım elde edebilmek için 150 mm çapında karıştırma kabı, kuru zemine suyu ölçüsünde verebilmemiz için yapılmış su kabı (piset), zemini suyla karıştırabilmek için kullanılacak 2 cm kalınlıklı 13 cm uzunluğunda spatula, suyla homojen karıştırılmış zeminin su muhtevasını deney anına kadar koruyabilecek nitelikte saklama kabı (desikatör), hassas ölçme özelliğine sahip (0.01 gr) terazi, kronometre ve her bir deney öncesinde sürtünmeden kaynaklı hataları gidermek için kullanılacak vazelin veya benzer yağlar da gerekmektedir.

Deneyin yapılışı: Spatula yardımıyla damıtık suyla homojen bir karışım oluşturana kadar karıştırılır. Zemin numunesi, bu haldeyken havayla temas etmeyecek bir şekilde poşetlere konulduktan sonra desikatöre (EK-5) konulur. 24 saat süreyle bekletilip suyla tam karışması sağlanan numune ertesi gün deneye tabi tutulur.

Ekstrüzyon makinası, yük ölçüm aparatının (load cell) (EK-6) tekrarlı deneylerde doğru ölçüm yapabilmesi için deneylerden en az yarım saat önce çalıştırılır. Her bir deney öncesi ekstrüzyon hücresi temizlenir. Zeminin deney sonrasında hücreden kolay çıkartılması, diğer deneye geçmeden hücrenin daha temiz olmasının sağlanması, zeminlerin hücre duvarına yapışmasının önlenmesi ve sürtünmelerin azaltılması amacıyla çok ince bir tabaka şeklinde vazelinlenir. Daha sonra zemin numunesi parçalar halinde ekstrüzyon hücresine atılır ve sıkıştırma pistonu ile hafif bir şekilde vurularak hücreye yerleşmesi sağlanır. Hücrenin üst yüzeyinden çelik cetvelle ölçülerek ekstrüzyon hücresinin içine doldurulan zemin yüksekliğinin hücre çapının en az 2 katı olmasına dikkat edilir. Her bir deneyde yaklaşık eşit miktar malzemenin kullanılmasına önem verilir. İçi zeminle dolu hücre ve ekstrüzyon pistonu, ekstrüzyon deneyinin yapılacağı düzeneğe yerleştirilir.



Şekil 3.8. Değişik su muhtevalı zeminde ekstrüzyon kuvveti-piston hareketi örnek grafiği [31]

Makinenin yükleme hızı önceden belirlenmiş bir değere (3 mm/dk) ayarlanır ve deney başlatıldığı andan itibaren eşit zaman aralıklarında (10 sn) ekstrüzyon basıncı okuması alınır. Deney süresince zemin sıkıştıkça okuma değeri artar. Şekil 3.8'de bir zemin numunesinin farklı su muhtevalarındaki ekstrüzyon basıncı - piston ilerleyişi grafiği verilmiştir.

Zemin numunesi delikten geçme direncinin üzerinde bir basınç değeriyle karşılaştığında, zemin delikten bir solucan şeklinde çıkmaya başlar (EK-7). Zemin çıkışı süresince okunan kuvvet değeri fazla değişiklik göstermez. Deney, ekstrüzyon hücresinden çıkan zemin numunesi, gözlem oluğundan gözlendikten sonraki okumada tamamlanır. Ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon kuvvetinin malzemenin kesit alanına (hazne alanı) bölünmesiyle elde edilir. Elde edilen sonuçlar ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi şeklinde grafiğe aktarılır. Ekstrüzyon kuvvetinin değişmediği değer o su muhtevasındaki zeminin ekstrüzyon basıncını temsil ettiği değer olarak tayin edilir. Aynı zemine ait en az dört noktadan oluşan bu ekstrüzyon basıncı değerleri, su içeriği değerlerine karşılık bir yarı logaritmik grafiğe aktarılır; bu grafiği en uygun şekilde temsil eden doğrusal çizgi, hiç bir nokta bu doğrunun altında kalmayacak şekilde çizilir. Bu doğrusal çizgiden sapmaların deney sırasında zemin-su karışımının hazne ile piston arasında istenmeyen sıkışmalardan, hazne içindeki ölü alanlardan ve engellenemeyen sürtünme kuvvetlerinden kavnaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda uygulanması gereken 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 kaymaktadır. Bu nedenle en uygun doğru çizilirken, grafikteki noktaların hiç birinin doğrunun altında kalmamasına özen gösterilir.
4. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde, önceki bölümlerde anlatılmış olan zemin numuneleriyle, belirtilen metotlara ait standartlara uygun olarak yapılmış deney sonuçları ve bazı özel detaylar verilmiştir. Deneylerde kullanılmış 57 numune için plastik limit (elle yuvarlama), Casagrande, düşen koni ve ekstrüzyon deneylerinin hepsi anlatılan şekilde yapılmıştır. Diğer 31 numunede ise düşen koni deneyleri yapılmamıştır.

4.1. Plastik Limit (Elle Yuvarlama) Deneyi Bulguları (ASTM D 4380)

Geleneksel elle yuvarlamayla plastik limit tespiti deneyi, her bir zemin numunesi için en az beşer adet olmak üzere standarda uygun olarak yapılmıştır. Bu deneylerin sonuç ve ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

No	Adı	Min. Değer	Max. Değer	Ort.	St. Sapma
1	EM01	19,8	25,6	22,7	1,9
2	EM02	16,5	29	20,1	3,5
3	EM03	24	26,3	24,7	0,8
4	EM04	20,1	25,9	23,4	1,7
5	EM05	22,5	26,9	24,6	1,7
6	EM06	20,7	28,6	23,3	2,4
7	EM07	23,1	28	25,3	1,8
8	EM08	32,6	39,1	34,5	2,0
9	EM09	31	35,4	33,0	1,6
10	EM10	26,6	34,5	29,7	2,4
11	ZM01	24	32	27,7	2,5
12	ZM02	28,4	34,3	31,4	1,8
13	ZM03	25,9	28,6	27,1	0,9
14	ZM04	27,3	38	32,1	3,3
15	ZM05	28,9	31,4	30,4	1,2
16	YY1A	27,3	25,9	26,6	0,6
17	YY2A	29,1	33	31,3	1,5
18	CA1A	25,4	28,1	26,5	1,0
19	CA2A	23,5	26	24,7	0,9
20	CA3A	29,1	33,8	31,4	2,0

Çizelge 4.1. Zeminlerin (elle yuvarlama metodu ile) plastik limit değerleri (*)

No	Adı	Min. Değer	Max. Değer	Ort.	St. Sapma
21	MK1A	28,1	32,1	30,1	1,5
22	MK2A	31,5	35,2	33,4	1,4
23	МКЗА	22,9	25	23,9	0,8
24	MK4A	30,5	27,3	29,1	1,0
25	MK5A	28,9	33	30,4	1,6
26	EY1A	23,8	31,5	27,3	2,8
27	EY2A	18,9	23,2	20,6	1,7
28	EY3A	26,5	29,1	27,6	1,0
29	EY4A	33,2	35,9	35,1	1,4
30	EY5A	29,5	33,3	31,9	1,7
31	EY6A	27,6	34,5	31,5	2,8
32	EY7A	30,1	32,6	31,2	0,8
33	EY8A	29,5	36	32,4	2,3
34	EY9A	25,9	33,2	28,8	2,7
35	EY10A	22,9	31,2	26,9	3,5
36	AK01	27,4	28,1	27,8	0,3
37	AK02	27,3	28,6	27,9	0,5
38	YY1B	24,2	28,4	26,4	1,2
39	YY2B	27,3	31,3	29,6	1,4
40	CA1B	26,3	29	27,4	0,8
41	CA2B	32,5	36,8	34,9	1,4
42	CA3B	30,8	34,8	32,6	1,1
43	MK1B	30,3	35	32,8	1,6
44	MK2B	27,3	31,8	30,0	1,6
45	MK3B	26,1	29,3	27,5	1,1
46	MK4B	29,1	34	31,6	1,5
47	MK5B	31,1	34,1	32,6	1,2
48	EY1B	32,1	36,4	34,1	1,4
49	EY2B	34	38,6	36,8	1,4
50	EY3B	31,2	34,3	32,7	1,0
51	EY4B	27,5	32,6	30,1	1,8
52	EY5B	32,1	36,2	34,6	1,3
53	EY6B	27,1	31,1	29,8	1,4
54	EY7B	27,3	30,2	28,4	1,2
55	EY8B	33,5	36,8	35,1	1,0

Çizelge 4.1. (Devam) Zeminlerin (elle yuvarlama metodu ile) plastik limit değerleri (*)

No	Adı	Min. Değer	Max. Değer	Ort.	St. Sapma
56	EY9B	27,3	29,3	27,7	1,1
57	EY10B	29,2	34,2	31,7	1,5
58	A-01	24,1	30,3	27,3	1,7
59	A-02	18,2	25,7	21,1	2
60	A-03	16	28,5	25,4	2,8
61	A-04	14,7	26,5	20,7	2,6
62	A-05	18,4	31	24,5	3,3
63	A-06	13,8	33	19,6	4,3
64	A-07	12	27,1	17,7	3,8
65	A-08	17,2	25,1	20,4	2,1
66	A-09	12,1	20,1	16,7	1,8
67	A-10	26,6	40,4	31,5	3,3
68	A-11	26,1	37,7	31,4	3,2
69	A-12	27,2	43	33,7	3,6
70	A-13	15,1	22,9	19,5	1,9
71	A-14	15	22,3	18,8	1,9
72	A-15	13,6	31	19,6	3,2
73	B-01	36	46	40,7	3,1
74	B-02	45	51	46,9	1,9
75	B-03	27	44	31,8	5 <i>,</i> 8
76	B-04	30	44	39,1	3,4
77	B-05	20	26	23,5	2
78	B-06	20	25	22,3	1,2
79	B-07	33	37	35,3	1,3
80	B-08	33	49	39,2	3,6
81	B-09	25,5	32	29,7	1,7
82	B-10	20	30	24,2	3,1
83	B-11	21	30	23,3	3
84	B-12	22	29	25,1	2
85	B-13	15,6	25,5	23	3,1
86	B-14	15	20,7	18,1	1,8
87	B-15	18	26	22,7	2,6
88	B-16	20,7	28,6	23	2,4

Çizelge 4.1. (Devam) Zeminlerin (elle yuvarlama metodu ile) plastik limit değerleri (*)

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil Kayabalı'ya ait olup, izinle kullanılmıştır.

4.2. Casagrande Deney Aletiyle Likit Limit Bulguları (ASTM D 4380)

Önceki bölümde anlatılan standartta tariflendiği üzere, 88 adet farklı zemin numunesi üzerinde, her biri için en az beş farklı noktada olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

No	Adı	Min. Değer	Maks. Değer	Ort. LL	St. Sap.
1	EM01	40,2	45,7	43,4	2,0
2	EM02	36,9	43,8	40,0	1,7
3	EM03	52,3	55,1	53,9	1,0
4	EM04	49,1	54,4	52,2	1,7
5	EM05	52,7	58,5	55,8	2,0
6	EM06	54,0	60,3	57,2	2,2
7	EM07	51,7	60,5	56,4	3,1
8	EM08	62,8	66,7	65,6	1,1
9	EM09	77,2	89,0	83,0	4,0
10	EM10	81,3	92,7	84,8	3,5
11	ZM01	67,8	75,1	70,9	2,2
12	ZM02	70,8	80,1	74,6	2,9
13	ZM03	65,0	75,0	69,4	3,9
14	ZM04	88,5	95,4	92,4	2,5
15	ZM05	77,1	86,2	79,5	4,1
16	YY1A	45,9	78,4	60,7	14,6
17	YY2A	70,4	73,1	71,9	1,1
18	CA1A	51,9	53,3	52,6	0,5
19	CA2A	54,2	57,2	55,8	1,1
20	CA3A	59,7	77,1	67,7	7,3
21	MK1A	67,5	69,0	68,1	0,6
22	MK2A	68,9	71,2	70,2	1,0
23	МКЗА	58,5	63,6	60,7	2,0
24	MK4A	68,4	73,5	71,4	1,6
25	MK5A	71,2	75,6	72,9	1,3

Çizelge 4.2. Zeminlerin Casagrande deney aletiyle ile elde edilmiş likit limit değerleri (*)

No	Adı	Min. Değer	Maks. Değer	Ort. LL	St. Sap.
26	EY1A	44,5	49,1	46,6	1,6
27	EY2A	60,2	64,8	62,6	1,8
28	EY3A	68,4	73,5	70,5	1,9
29	EY4A	61,3	63,5	62,3	0,9
30	EY5A	55,8	60,2	58,4	1,5
31	EY6A	47,2	56,1	51,7	3,3
32	EY7A	47,5	63,6	54,9	7,0
33	EY8A	47,3	53,9	49,0	2,3
34	EY9A	44,9	75,3	59,4	14,6
35	EY10A	52,7	54,1	53,1	0,7
36	AK01	52,8	53,6	53,2	0,3
37	AK02	63,2	66,1	64,8	1,2
38	YY1B	55,4	60,1	57,6	1,5
39	YY2B	57,2	61,4	59,3	1,5
40	CA1B	55,9	61,2	58,2	1,7
41	CA2B	87,3	91,4	88,9	1,7
42	CA3B	64,3	68,2	66,3	1,2
43	MK1B	66,5	71,3	68,7	1,5
44	MK2B	63,2	69,3	66,3	2,1
45	МКЗВ	55,0	60,3	57,5	1,6
46	MK4B	86,3	90,4	89,2	1,9
47	MK5B	87,2	92,5	89,8	1,9
48	EY1B	56,9	63,3	59,5	2,1
49	EY2B	87,2	93,0	90,2	1,8
50	EY3B	66,5	71,3	68,6	1,4
51	EY4B	87,5	92,3	90,1	1,5
52	EY5B	57,2	63,5	59,7	2,1
53	EY6B	56,5	63,4	59,1	2,2
54	EY7B	45,2	49,4	48,2	2,0
55	EY8B	66,8	71,4	68,7	1,4
56	EY9B	55,2	59,2	57,4	1,4
57	EY10B	65,2	69,0	67,7	1,2
58	A-01	62,5	83,9	73,8	5,7
59	A-02	51,3	63,6	57,3	3,2
60	A-03	49,0	60,4	53,4	2,9

Çizelge 4.2. (Devam) Zeminlerin Casagrande deney aletiyle ile elde edilmiş likit limit değerleri (*)

No	Adı	Min. Değer	Maks. Değer	Ort. LL	St. Sap.
61	A-04	46,3	60,2	52,3	4,1
62	A-05	42,0	58,2	48,9	3,8
63	A-06	42,4	53,5	47,1	3,0
64	A-07	34,3	42,7	38,2	2,7
65	A-08	45,0	52,0	48,4	2,4
66	A-09	27,8	36,2	31,6	2,5
67	A-10	53,4	70,6	62,4	4,7
68	A-11	53,6	74,2	64,3	5,6
69	A-12	63,8	90,0	75,8	7,3
70	A-13	33,1	45,2	37,5	2,9
71	A-14	33,2	46,4	38,9	3,2
72	A-15	35,4	55,1	39,1	4,5
73	B-01	71,0	98,0	83,6	9,5
74	B-02	66,0	81,0	77,3	4,6
75	B-03	55,0	71,0	62,4	5,1
76	B-04	62,0	91,0	79,7	7,4
77	B-05	44,0	48,0	46,1	1,2
78	B-06	33,0	40,0	37,2	2,6
79	B-07	77,0	91,0	81,7	4,6
80	B-08	62,0	71,0	64,2	2,4
81	B-09	37,7	46,5	44,3	2,7
82	B-10	45,0	47,0	45,7	0,7
83	B-11	56,0	60,0	57,1	1,2
84	B-12	43,0	48,0	46,4	1,5
85	B-13	43,8	46,2	44,7	0,6
86	B-14	22,9	31,5	26,4	2,7
87	B-15	31,0	40,0	37,5	2,4
88	B-16	54,0	60,3	57,2	2,2

Çizelge 4.2. (Devam) Zeminlerin Casagrande deney aletiyle ile elde edilmiş likit limit değerleri (*)

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil Kayabalı'ya ait olup, izinle kullanılmıştır.

Çizelge 4.2'de A-01'den A-15'e ve B-01'den B-15'e adlı zeminlere ait deneysel veriler Kayabalı ve Tüfenkçi'ye (2010a) ait çalışmalardan alınmıştır. Bu çalışmada plastik limiti bulunan zemin numuneleri için onar adet deney sonucu elde edilmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Tabloda bu ortalama değerler ve standart sapmaları verilmiştir. Ayrıca sonuç değerlerinden elde edilmiş zemin sınıflandırmaları bulunmaktadır [32].

Casagrande deney aletiyle yapılan likit limit deneyleri ve geleneksel elle yuvarlama metodundan elde edilen plastik limit değerleriyle elde edilen verilerle zeminlerin sınıfsal değerlendirmeleri yapılmıştır. Çizelge 4.2'de likit limit ve plastik limit değerlerinden farklı olarak plastisite indeksi (PI) değerleri, deneylere ait standart sapmalar ve zemin sınıfları verilmiştir.



Şekil 4.1. Casagrande deney aletiyle bulunan likit limit değerlerine göre tespit edilmiş zemin sınıflarının sayısal dağılımı

Değerlendirmeler sonunda Şekil 4.1'de görülen grafikteki dağılım elde edilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere 88 adet zemin numunesinin 51 tanesi yüksek plastisiteli kil (*CH*), 17 tanesi düşük plastisiteli kil (*CL*), 16 tanesi yüksek plastisiteli silt (*MH*), 4 tanesi ise düşük plastisiteli silt (*ML*) türü malzeme olarak belirlenmiştir. Kullanılan zemin numunelerinin %77'si kil ve bunların %75'i ise yüksek plastisiteli kil sınıfında yer almıştır.

4.3. Koni Düşürme (Penetrasyon) Deneyi İle Likit Limit Tayini Bulguları (BS 1377)

Deneyler, Gazi Üniversitesi zemin mekaniği laboratuvarında standarda uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için en az dört farklı su muhtevasında deney yapılmıştır. Numunelerin 20 mm'lik düşen koni penetrasyon değeri geçilmedikçe deneye devam edilmiş, böylelikle bazı numuneler için altı ve daha fazla noktada deney yapılmıştır.



Şekil 4.2. 41 numaralı CA2B zemin numunesine ait koni Penetrasyonu - su muhtevası yarı logaritmik grafiği

Elde edilen penetrasyon değeri - su muhtevası noktaları Şekil 4.2'de 41 numaralı CA2B adlı zemin numunesine ait örnekte olduğu gibi, bir yarı logaritmik grafiğe aktarılmış ve bu noktalara en iyi uyan lineer doğru çizilmiştir. Standartta da belirtildiği gibi, 20 mm'lik penetrasyon değeri o zemin numunesine ait likit limit değeri olarak kabul edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi bu zeminin düşen koni penetrasyon yöntemiyle elde edilen likit limit değeri 67 olarak okunmuştur. Tüm zemin numunelerinde bu işlemler uygulandıktan sonra düşen koni ve Casagrande yöntemi ile elde edilen sonuç değerleri bir bütün halinde Çizelge 4.3'de verilmiştir. Deneylere ait elde edilen tüm veriler ve çizilen tüm grafikler EK-8 ve EK-9'da verilmiştir.

Der	ney Adı	Dü	şen ko	oni der	neyi	Casagrande deneyi			neyi	Değerlendirme
No	Adı	LL	PL	PI	Sınıfı	LL	PL	PI	Sınıfı	LL-farkı
1	EM1	51	22,7	28,3	СН	43,4	22,7	20,7	CL	7,6
2	EM2	43,2	20,1	23,1	CL	40,0	20,1	19,8	CL	3,2
3	EM3	55,2	24,7	30,5	СН	53,9	24,7	29,2	СН	1,3
4	EM4	55,8	23,4	32,4	СН	52,2	23,4	28,8	СН	3,6
5	EM5	56,7	24,6	32,1	СН	55 <i>,</i> 8	24,6	31,2	СН	0,9
6	EM6	59	23,3	35,7	СН	57,2	23,3	33,9	СН	1,8
7	EM7	59,8	25,3	34,5	СН	56,4	25,3	31,1	СН	3,4
8	EM8	71	34,5	36,5	MH	65,6	34,5	31,0	MH	5,4
9	EM9	78,8	33,0	45,0	СН	83,0	33,0	50,0	СН	-4,2
10	EM10	91,2	29,7	61,5	СН	84,8	29,7	55,0	СН	6,4
11	ZM1	74,5	27,7	46,9	СН	70,9	27,7	43,3	СН	3,6
12	ZM2	91,2	31,4	59,8	СН	74,6	31,4	43,2	СН	16,6
13	ZM3	66,9	27,1	39,2	СН	69,4	27,1	42,4	СН	-2,5
14	ZM4	92,4	32,1	59,2	СН	92,4	32,1	60,3	СН	0,0
15	ZM5	86	30,4	55,6	СН	79,5	30,4	49,1	СН	6,5
16	YY1A	51	26,6	24,4	СН	60,7	26,6	34,1	СН	-9,7
17	YY2A	68	31,3	36,7	СН	71,9	31,3	40,6	СН	-3,9
18	CA1A	57,8	26,5	31,3	СН	52,6	26,5	26,1	СН	5,2
19	CA2A	55,6	24,7	30,9	СН	55,8	24,7	31,2	СН	-0,2
20	CA3A	56,7	31,4	25,3	MH	67,7	31,4	36,3	СН	-11,0
21	MK1A	72,8	30,1	42,7	СН	68,1	30,1	38,0	СН	4,7
22	MK2A	78,7	33,4	45,3	СН	70,2	33,4	36,9	СН	8,5
23	MK3A	55,5	23,9	31,6	СН	60,7	23,9	36,8	СН	-5,2
24	MK4A	73,1	29,1	44,0	СН	71,4	29,1	42,3	СН	1,7
25	MK5A	81,5	30,4	51,1	СН	72,9	30,4	42,5	СН	8,6
26	EY1A	49,3	27,3	22,1	CL	46,6	27,3	19,4	ML	2,7
27	EY2A	59,8	20,6	38,0	СН	62,6	20,6	42,0	СН	-2,8
28	EY3A	66,4	27,6	38,8	СН	70,5	27,6	42,9	СН	-4,1
29	EY4A	65,9	35,1	30,8	MH	62,3	35,1	27,2	MH	3,6
30	EY5A	62,6	31,9	30,7	MH	58 <i>,</i> 4	31,9	26,5	MH	4,2
31	EY6A	59,2	31,5	27,7	MH	51,7	31,5	20,3	MH	7,5
32	EY7A	57,2	31,2	26,0	MH	54,9	31,2	23,6	MH	2,4
33	EY8A	53,6	32,4	21,3	MH	49,0	32,4	16,7	ML	4,6
34	EY9A	58,4	28,8	29,6	СН	59,4	28,8	30,7	СН	-1,0
35	EY10A	55,1	26,9	28,2	СН	53,1	26,9	26,2	СН	2,0
36	AK01	58,4	27,8	30,6	СН	53,2	27,8	25,4	СН	5,2

Çizelge 4.3. Zeminlerin düşen koni ve Casagrande yöntemiyle elde edilmiş likit limit değerleri

Der	ney Adı	Dü	şen ko	oni der	neyi	Casagrande deneyi			neyi	Değerlendirme
No	Adı	LL	PL	PI	Sınıfı	LL	PL	PI	Sınıfı	LL-farkı
37	AK02	58,8	27,9	30,9	СН	64,8	27,9	36,9	СН	-6,0
38	YY1B	61	26,4	34,6	СН	57,6	26,4	31,2	СН	3,4
39	YY2B	75	29,6	45,5	СН	59,3	29,6	29,7	СН	15,7
40	CA1B	64,8	27,4	37,4	СН	58,2	27,4	30,9	СН	6,6
41	CA2B	67	34,9	32,1	MH	88,9	34,9	54,0	СН	-21,9
42	CA3B	70,3	32,6	37,7	СН	66,3	32,6	33,7	MH	4,0
43	MK1B	90	32,8	57,2	СН	68,7	32,8	35,9	СН	21,3
44	MK2B	99,3	30,0	69,3	СН	66,3	30,0	36,3	СН	33,0
45	MK3B	62,5	27,5	35,0	СН	57,5	27,5	29,9	СН	5,0
46	MK4B	76,3	31,6	44,7	СН	89,2	31,6	57,6	СН	-12,9
47	MK5B	86	32,6	53,4	СН	89,8	32,6	57,3	СН	-3,8
48	EY1B	57,3	34,1	23,2	MH	59,5	34,1	25,4	MH	-2,2
49	EY2B	73,3	36,8	36,5	MH	90,2	36,8	53,4	СН	-16,9
50	EY3B	77,1	32,7	44,4	СН	68,6	32,7	35,9	MH	8,5
51	EY4B	76,8	30,1	45,7	СН	90,1	30,1	60,0	СН	-13,3
52	EY5B	77,3	34,6	42,8	СН	59,7	34,6	25,2	MH	17,6
53	EY6B	73	29,8	43,2	СН	59,1	29,8	29,3	СН	13,9
54	EY7B	68,6	28,4	40,2	СН	48,2	28,4	19,8	ML	20,4
55	EY8B	67,3	35,1	32,2	MH	68,7	35,1	33,6	MH	-1,4
56	EY9B	65,8	27,7	38,1	СН	57,4	27,7	29,7	СН	8,4
57	EY10B	68,8	31,7	37,1	СН	67,7	31,7	36,0	СН	1,1

Çizelge 4.3. Zeminlerin düşen koni ve Casagrande yöntemiyle elde edilmiş likit limit değerleri

Pozitif değerler o zemin numunesi için; düşen koni deneyinden elde edilen likit limit değerinin büyük olduğunu, negatif değerler ise Casagrande deneyinden elde edilen likit limit değerlerinin büyük olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Düşen koni deneyiyle elde edilen likit limitlerle hesaplanmış zemin sınıflarının sayısal dağılımı

Çizelge 4.3'ten gözlemlenen zemin sınıflarının değerlendirilmesine ait grafik Şekil 4.3'te verilmiştir. Düşen koni deneylerinden elde edilen likit limit değerleri ile hesaplanmış zemin sınıflarının dağılımı; 44 tane yüksek plastisiteli kil *(CH)*, 11 tane yüksek plastisiteli silt *(MH)*, 2 tane de düşük plastisiteli kil *(CL)* olarak grafiğe yansımıştır. Düşen koni deney sonuçlarından elde edilen bu grafikten anlaşılacağı üzere, deneylerde kullanılan numunelerin büyük bir kısmı yüksek plastisiteli kildir. Numunelerin 2 tanesi hariç tüm zeminler yüksek plastisitelidir.



Şekil 4.4. Casagrande deneyinden elde edilen likit limitlerle hesaplanmış zemin sınıflarının histogramı

Casagrande deneylerinden elde edilen likit limit değerlerine göre ise Şekil 4.4'de görüleceği gibi; 57 adet zemin numunesinin 42 tanesi yüksek plastisiteli kil *(CH)*, 10 tanesi yüksek plastisiteli silt, 3 tanesi düşük plastisiteli silt, kalan 2 numune ise düşük plastisiteli kil olarak tespit edilmiştir. Casagrande deneyinden elde edilen sonuçlara göre de düşen koni deneyine benzer olarak zemin sınıfları büyük oranda yüksek plastisiteli killer olarak çıkmıştır. Deney sonuçlarına dikkat edilirse 3 numune düşük plastisiteli silt, diğer 2 numune ise düşen koni deneyindeki gibi düşük plastisiteli kil olarak sınıflandırılmıştır.

İki farklı deneyin zemin sınıflandırmaları açısından değerlendirilmesinde iki deney sonucu arasında 10 adet numunenin zemin sınıfları açısından farklılıklarla karşımıza çıktığı saptanmıştır. Diğer 47 adet numunenin ise zemin sınıfı aynıdır. Bu iki deney standardından elde edilen 10 adet farklı zemin sınıfına sahip numunenin 3 tanesi Casagarande deneyinde düşük plastisiteli silt (*ML*) olarak tespit edilmiştir. Düşen koni deneyinde bu numuneler, aynı plastik limitteki daha yüksek likit limit değerine sahip zemin sınıflarında yer almaktadır.

Casagrande deneyinde yüksek plastisiteli silt (*MH*) olarak tespit edilmiş numunelerin 3'ü de düşen koni deneyinde yüksek plastisiteli kil (*CH*) olarak tespit edilmiştir. Böylelikle bu numuneler likit limit kıvamında, daha yüksek su muhtevası gerektiren bir sınıflandırma biriminde yer almıştır. 1 zemin numunesi Casagrande deneyinde düşük plastisiteli kil (*CL*) sınıfında yer almışken, düşen koni deneyinde daha yüksek likit limit değeriyle yüksek plastisiteli kil (*CH*) olarak saptanmıştır. Farklı sınıflandırmada olan diğer 3 numune ise, likit limit su muhteası değerlerinin Casagrande deneyinde daha yüksek olduğu yüksek plastisiteli kil (*CH*) sınıfında bulunmaktadır. Bu numuneler düşen koni deneyinde düşük plastisiteli kil (*CL*) olarak



Şekil 4.5. Düşen koni ve Casagrande deneylerinden elde edilen likit limit değerlerinin büyüklüklerinin karşılaştırılması

Tüm bu değerlendirmelerin ışığında Şekil 4.5'teki grafikte görüldüğü üzere, yatay eksen aynı zemin numunesini temsil edecek şekilde eşit aralıklı, düşey eksen ise iki farklı deney yöntemine ait likit limit değerlerini bulunduracak şekilde düzenlenmiştir. Grafikte tespit edilen 57 numunenin 39 tanesinde düşen koniden elde edilen likit limit değerleri, 18 tanesinde ise Casagrande deneyinden elde edilen likit limit değerleri büyük çıkmıştır. Genel ortalama itibariyle düşen koni deneyinden elde edilen likit limit değerleri %10 civarında daha büyük çıkabilmektedir. İki deney türü zemin sınıfını belirlemede %82 oranında uyumludur.

4.4. Ekstrüzyon Deneyine Ait Bulgular

Deneyler 57 adet farklı zemin numunesinin her biri için en az dört farklı su muhtevasında olmak üzere, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü zemin mekaniği laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 4.6. Su içeriği-ekstrüzyon gerilmesi grafiği

Her bir zemin numunesi için elde edilen en az dört ekstrüzyon gerilmesi değeri, Şekil 4.6'de görüldüğü üzere yarı logaritmik bir grafiğe aktarılmıştır. Grafik üzerinde bu noktaların bulunduğu alanda en küçük değerlerin altından geçen bir zarf (zarf 1), en yüksek noktaların üzerinden geçen benzer eğimli en uygun bir zarf (zarf 2) ve bu doğruların arasında kalacak ve noktaların sıklaştığı yerlerden daha çok noktanın üzerinden geçecek şekilde bir diğer zarf (zarf 3) çizilmiştir. Bu aşamada öncelikle plastik limitteki ekstrüzyon gerilmesi değerinin saptanması için, elle yuvarlama yönteminden elde edilen plastik limit değeri yatay eksende tespit edilmiştir. Bu plastik limit değerinden düşey eksene paralel bir dik çıkılarak, önceden belirlenmiş doğrularla (zarf 1, zarf 2, zarf 3) kesiştirilmiştir. Bu kesişim noktalardan hareketle yataylar çıkılarak, her biri için ekstrüzyon gerilmesi tespit edilmiştir.

Elde edilen bu üç değer, bu kıvamdaki o zemin numunesi için olabilecek en büyük, en küçük ve daha olasılıklı ekstrüzyon gerilmeleri olarak düşünülmüştür. Bu üç değer aralığında noktaların dağılımına da bakılarak ve mühendislik yargısı kullanılarak uygun bir ekstrüzyon gerilmesi saptanmıştır. Deneylere ait tüm sonuçlar ve değerlendirmede kullanılan grafikler EK-10 ve EK-11'de verilmiştir. Çizelge 4.4'te zemin numunelerinin plastik limit kıvamındaki ekstrüzyon değerleri verilmiştir.

De	Deney adı	PI	E	Ekstrüzyon gerilmesi (kPa)					
DC	ncy au		1	2	3	saptanan			
1	EM1	22,7	3500	7000	5000	4500			
2	EM2	20,1	2100	3000	2600	2500			
3	EM3	24,7	3100	5100	4000	3800			
4	EM4	23,4	4300	6700	5600	5600			
5	EM5	24,6	3300	5000	4500	4500			
6	EM6	23,3	5500	7200	6000	5900			
7	EM7	25,3	2600	3900	3100	3100			
8	EM8	34,5	3900	6100	5200	5300			
9	EM9	33,0	5100	8000	6100	5800			
10	EM10	29,7	1250	2050	1700	1700			
11	ZM1	27,7	1500	5100	3500	3300			
12	ZM2	31,4	2800	4000	3100	3100			
13	ZM3	27,1	2500	3200	2750	2750			
14	ZM4	32,1	2300	3100	2900	2900			
15	ZM5	30,4	3100	4000	3800	3800			
16	YY1A	26,6	2500	3000	2900	2800			
17	YY2A	31,3	3500	5750	5000	5000			
18	CA1A	26,5	2500	7000	6950	6900			
19	CA2A	24,7	2200	3000	2800	2800			
20	CA3A	31,4	1850	3050	2500	2400			
21	MK1A	30,1	3500	5000	4200	4200			
22	MK2A	33,4	2500	3800	3100	3100			
23	MK3A	23,9	3050	4500	3700	3300			
24	MK4A	29,1	3300	5000	4700	4600			
25	MK5A	30,4	2100	3500	2900	2850			
26	EY1A	27,3	4100	6950	5000	5000			

Çizelge 4.4. Plastik limit kıvamındaki zemin numunelerinin ekstrüzyon değerleri

saptanan	3	2	1	PL	ney adı	De
2100	2050	3000	1300	20,6	EY2A	27
1700	1600	2100	1100	27,6	EY3A	28
1800	1800	2000	1650	35,1	EY4A	29
9000	9000	10000	8000	31,9	EY5A	30
9000	9000	10000	7500	31,5	EY6A	31
5750	5500	6000	4200	31,2	EY7A	32
2500	2600	3950	2000	32,4	EY8A	33
2300	2400	2550	1000	28,8	EY9A	34
2000	1500	2900	1400	26,9	EY10A	35
4900	4900	5000	4850	27,8	AK01	36
4100	4100	4200	3950	27,9	AK02	37
3000	3000	3700	2700	26,4	YY1B	38
5600	5600	6000	5000	29,6	YY2B	39
4000	4000	4050	3500	27,4	CA1B	40
1400	1400	1500	1200	34,9	CA2B	41
3000	3000	3200	2400	32,6	CA3B	42
2800	2800	2900	2600	32,8	MK1B	43
3600	3800	4500	3000	30,0	MK2B	44
2800	2800	3000	2200	27,5	MK3B	45
2000	2200	3200	1500	31,6	MK4B	46
2700	2800	2900	2000	32,6	MK5B	47
2000	2000	2800	1800	34,1	EY1B	48
500	500	600	400	36,8	EY2B	49
1200	1200	1650	950	32,7	EY3B	50
9600	10000	12000	7500	30,1	EY4B	51
4900	4900	6000	3500	34,6	EY5B	52
10000	10000	12000	8500	29,8	EY6B	53
18000	18000	18000	18000	28,4	EY7B	54
3100	3100	4050	2200	35,1	EY8B	55
5000	5000	5000	5000	27,7	EY9B	56
900	850	1450	600	31,7	EY10B	57
1350	1350	1350	1350	27,3	A-01	58
2900	2950	3100	2100	21,1	A-02	59
2500	2500	3000	1900	25,4	A-03	60
3300	3300	3500	2000	20,7	A-04	61
2250	2300	3100	1400	24,5	A-05	62
1900	1900	2100	1400	19,6	A-06	63
1900	1900	2100	1600	17,7	A-07	64

Çizelge 4.4. (Devam) Plastik limit kıvamındaki zemin numunelerinin ekstrüzyon değerleri

Der	nev adı	PI		Ekstrüzyor	gerilme	si (kPa)
DCI	icy dui		1	2	3	saptanan
65	A-08	20,4	2500	4500	3900	3900
66	A-09	16,7	3100	6000	4800	4800
67	A-10	31,5	2900	4100	3900	3900
68	A-11	31,4	3100	5200	4100	4100
69	A-12	33,7	3700	6200	4900	4700
70	A-13	19,5	1200	1700	1400	1400
71	A-14	18,8	2000	2700	2500	2500
72	A-15	19,6	1200	1200	1200	1200
73	B-01	40,7	3000	4500	3900	3900
74	B-02	46,9	3200	6500	5200	5200
75	B-03	31,8	3000	4000	3800	3800
76	B-04	39,1	4200	8500	5200	5200
77	B-05	23,5	1000	1800	1600	1600
78	B-06	22,3	1700	2600	2100	1700
79	B-07	35,3	5950	8000	6000	6000
80	B-08	39,2	3000	4100	3500	3500
81	B-09	29,7	3500	5000	4400	4400
82	B-10	24,2	1300	3500	2800	2800
83	B-11	23,3	1500	2300	1900	1900
84	B-12	25,1	3800	4800	4200	4200
85	B-13	23,0	4000	5900	4900	4900
86	B-14	18,1	1500	1900	1750	1750
87	B-15	22,7	7000	11500	8000	7900
88	B-16	23,0	2900	3900	3200	3200

Çizelge 4.4. (Devam) Plastik limit kıvamındaki zemin numunelerinin ekstrüzyon değerleri

Çizelge 4.4.'de plastik limitteki zemin numunelerine karşı gelen değerlendirme grafiklerinden elde edilen en küçük ekstrüzyon gerilmesi (1), en büyük ekstrüzyon gerilmesi (2), elde edilebilecek yüksek olasılıklı ekstrüzyon gerilmesi (3) ve saptanan ekstrüzyon gerilmesi görülmektedir. A-01' den A-15 ve B-01'den B-16 adlı zemin numunelerinin tüm Ekstrüzyon deneyleri Kayabalı ve Tüfenkçi (2010a) tarafından yapılmıştır. Numuneler 38 mm çaplı hazne ve 6 mm delik çaplı deney pistonuyla ekstrüzyona dört - altı farklı noktada tabi tutulmuştur. Bu numunelere ait deney sonuçları çizelgede verilmiştir [32].



Şekil 4.7. Plastik limitteki zemin numunelerine ait saptanan ekstrüzyon değerlerinin sayısal değer aralığı dağılımı

Çizelge 4.4'den elde edilen değerler ile oluşturulan Şekil 4.7'de, plastik limitteki zeminlere ait ekstrüzyon gerilmelerinin histogramı görülmektedir. Grafikten okunacağı üzere 88 adet zemin numunesinin 21 tanesi 2001 kPa – 3000 kPa, 18 tanesi 3001 kPa – 4000 kPa, 14 tanesi 4001 kPa – 5000 kPa, 14 tanesi 1001 kPa – 2000 kPa, 11 tanesi 5001 kPa – 6000 kPa, 8 tanesi 6001 kPa değerinden büyük ve 2 tanesi 1000 kPa değerinden küçük çıkmıştır. Şekil 4.7'deki grafikte plastik limitteki zeminlere ait ekstrüzyon gerilmelerinin 39 tanesi 2001 kPa – 4000 kPa değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu 39 adet numunenin plastik kıvamdaki ekstrüzyon gerilmelerinin ortalaması alınmış, ve 2996 kPa gerilme değeri bulunup yaklaşık 3000 kPa gerilme değeri kabaca kabul edilmiştir.

Şekil 4.6'daki grafiksel işlemin benzeri Casagrande Çarpmalı Aletinden elde edilen ve düşen koniden elde edilen likit limit değerleri için de tekrarlanmıştır. Deneysel veri noktalarını aşağıdan çevreleyen zarf (zarf 1), yukarıdan çevreleyen zarf (zarf 2) ve bunları ortalayan üçüncü bir zarf (zarf 3) çizilmiştir. Deneylerden elde edilen likit limit değerleri yatay eksende işaretlendikten sonra buradan dik çıkılarak deneysel bu doğrulardan biri (sözgelimi zarf 1) kesilmiş; o noktadan çizilen yatay çizginin düşey ekseni kestiği nokta likit limite karşılık gelen ekstrüzyon gerilmesi olarak tayin edilmiştir.

Elde edilen değere o deneye ait likit limit değeri için saptanmış ekstrüzyon gerilmesi 1 denilmiştir. Benzer şekilde zarf 2 ve zarf 3 de kesiştirilmiş ve ekstrüzyon eksenine yataylar çıkılarak o noktadaki gerilmeler elde edilmiştir. Her bir numune için elde edilen iki farklı yöntemdeki üç ayrı gerilme değerine bakılarak ve noktaların garafik üzerindeki dağılımından yaralanılarak, kullanılacak ekstrüzyon gerilmesi saptanmıştır. Saptanan bu değerlere de likit limitteki ekstrüzyon gerilmeleri denilmiştir. Çizelge 4.5'de Casagrande deneyinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri verilmiştir.

		Cassagrande		Ekstrüzy	lmesi (kPa)	
De	ney adı	LL	1	2	3	saptanan
1	EM1	43,4	100	190	165	150
2	EM2	40,0	58	100	80	75
3	EM3	53,9	65	130	80	85
4	EM4	52,2	80	150	110	100<
5	EM5	55,8	12	45	28	30
6	EM6	57,2	33	60	45	45
7	EM7	56,4	13	37	22	25
8	EM8	65,6	80	200	145	100<
9	EM9	83,0	1	10	6	7
10	EM10	84,8	1	2	1	1
11	ZM1	70,9	20	35	29	30
12	ZM2	74,6	20	35	27	29
13	ZM3	69,4	20	28	25	26
14	ZM4	92,4	14	21	16	18
15	ZM5	79,5	12	28	18	20
16	YY1A	60,7	14	38	28	30
17	YY2A	71,9	25	65	43	48
18	CA1A	52,6	80	295	190	190
19	CA2A	55,8	40	61	51	50
20	CA3A	67,7	28	58	35	38
21	MK1A	68,1	34	58	45	45
22	MK2A	70,2	55	100	80	80
23	MK3A	60,7	22	50	42	40

Çizelge 4.5. Casagrande deney aletinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri

		Cassagrande	Ekstrüzyon gerilmesi (kPa)						
De	ney adı	LL	1	2	3	saptanan			
24	MK4A	71,4	22	41	35	38			
25	MK5A	72,9	32	80	37	40			
26	EY1A	46,6	59	210	82	80			
27	EY2A	62,6	8	37	18	25			
28	EY3A	70,5	15	38	24	25			
29	EY4A	62,3	18	30	24	26			
30	EY5A	58,4	140	180	160	100<			
31	EY6A	51,7	220	400	300	100<			
32	EY7A	54,9	200	450	350	100<			
33	EY8A	49,0	50	102	70	65			
34	EY9A	59,4	32	100	80	82			
35	EY10A	53,1	20	60	33	35			
36	AK01	53,2	180	210	200	100<			
37	AK02	64,8	50	80	65	60			
38	YY1B	57,6	37	67	47	47			
39	YY2B	59,3	180	200	230	100<			
40	CA1B	58,2	70	100	90	85			
41	CA2B	88,9	2	5	3	3			
42	CA3B	66,3	100	140	120	100<			
43	MK1B	68,7	60	80	70	70			
44	MK2B	66,3	90	150	120	100<			
45	МКЗВ	57,5	60	100	75	80			
46	MK4B	89,2	5	22	12	10			
47	MK5B	89,8	13	15	14	15			
48	EY1B	59,5	30	40	35	35			
49	EY2B	90,2	1	2	1	1			
50	EY3B	68,6	24	38	31	33			
51	EY4B	90,1	5	17	14	15			
52	EY5B	59,7	200	380	290	100<			
53	EY6B	59,1	125	240	180	100<			
54	EY7B	48,2	290	290	290	100<			

Çizelge 4.5. (Devam) Casagrande deney aletinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri

		Cassagrande	Ekstrüzyon gerilmesi (kPa)						
De	ney adı	LL	1	2	3	saptanan			
55	EY8B	68,7	1,5	2	1,7	2			
56	EY9B	57,4	100	100	100	100			
57	EY10B	67,7	1	3	2	2			
58	A-01	73,8	10	10	10	10			
59	A-02	57,3	20	38	29	30			
60	A-03	53,4	24	40	30	32			
61	A-04	52,3	17	35	30	30			
62	A-05	48,9	60	100	75	70			
63	A-06	47,1	50	100	85	85			
64	A-07	38,2	40	70	48	45			
65	A-08	48,4	30	80	40	40			
66	A-09	31,6	75	130	90	90			
67	A-10	62,4	30	50	40	40			
68	A-11	64,3	48	100	70	70			
69	A-12	75,8	23	32	27	27			
70	A-13	37,5	37	60	48	50			
71	A-14	38,9	29	43	34	40			
72	A-15	39,1	25	25	25	25			
73	B-01	83,6	10	18	13	15			
74	B-02	77,3	35	70	60	60			
75	B-03	62,4	17	38	24	25			
76	B-04	79,7	78	80	80	79			
77	B-05	46,1	36	75	43	45			
78	B-06	37,2	14	15	15	15			
79	B-07	81,7	26	42	30	30			
80	B-08	64,2	47	70	54	55			
81	B-09	44,3	34	55	46	45			
82	B-10	45,7	15	20	18	19			
83	B-11	57,1	35	80	45	45			
84	B-12	46,4	49	68	58	55			
85	B-13	44,7	32	60	40	42			
86	B-14	26,4	95	150	110	100<			
87	B-15	37,5	83	110	102	100			
88	B-16	57,2	18	20	19	19			

Çizelge 4.5. (Devam) Casagrande deney aletinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri

Çizelge 4.5'de zemin numunelerinin Casagrande deneyiyle elde edilen likit limit değerlerinin yanı sıra, değerlendirmeler sonunda likit limitteki en küçük ektrüzyon değeri (1), en büyük ekstrüzyon değeri (2), ve daha yüksek olasılıklı ekstrüzyon değeri (3) ile bunlara göre tayin edilen temsilci ektrüzyon gerilmeleri görülmektedir. Elde edilen gerilme değerleri 1 kPa – 100 kPa aralığında verilmiş olup, 100 kPa değerinden büyük değerler 100< şeklinde belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Casagrande deneyinde elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerinin dağılımı

Şekil 4.8'deki Casagrande deneyiyle elde edilen likit limit kıvamındaki zeminlerin ekstrüzyon gerilmelerinin sayısal dağılımını gösteren grafikten görüleceği üzere, ekstrüzyon gerilme değerleri Casagrande deneyinden elde edilen verilerle değerlendirildiğinde geniş bir aralıkta yayılmaktadır. Bu dağılıma rağmen değerlerin grafiğin düşük ekstrüzyon gerilmelerini bulunduran kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Değerlendirme grafiğinde 100 kPa değerinden büyük olanlar alınmamıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere bu deney yöntemiyle elde edilmiş likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerinin toplandığı genel bir aralık olarak 21 kPa – 60 kPa değerleri gözlemlenmektedir. Bu aralığa 41 ektrüzyon gerilmesi düşmüştür. Bu gruptaki ekstrüzyon gerilmelerinin ortalama değeri 37,71 kPa olup kabaca 40 kPa değeri tesbit edilmiştir.. Düşen koni deneyinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerinin ortalama teşi 4.6.'da verilmiştir.

		Düşen Koni	Ekstrüzyon gerilmesi (kPa)					
Deney adı		LL	1	2	3	saptanan		
1	EM1	51,0	30	55	45	45		
2	EM2	43,2	32	60	43	43		
3	EM3	55,2	50	100	60	55		
4	EM4	55,8	50	85	60	60		
5	EM5	56,7	9	43	34	34		
6	EM6	59,0	25	45	33	33		
7	EM7	59 <i>,</i> 8	37	60	51	51		
8	EM8	71,0	35	99	62	62		
9	EM9	78,8	8	19	15	15		
10	EM10	91,2	1	2	1	1		
11	ZM1	74,5	15	24	20	23		
12	ZM2	91,2	1	1	1	1		
13	ZM3	66,9	25	32	29	30		
14	ZM4	92,4	14	22	17	18		
15	ZM5	86,0	2	14	8	10		
16	YY1A	51,0	50	130	94	30		
17	YY2A	68,0	39	80	62	60		
18	CA1A	57,8	35	150	85	85		
19	CA2A	55,6	40	61	51	51		
20	CA3A	56,7	90	190	120	100		
21	MK1A	72,8	20	35	29	29		
22	MK2A	78,7	24	70	45	45		
23	МКЗА	55,5	48	95	80	42		
24	MK4A	73,1	19	38	28	28		
25	MK5A	81,5	16	42	18	20		
26	EY1A	49,3	36	150	42	42		
27	EY2A	59,8	15	45	25	30		
28	EY3A	66,4	19	50	38	38		
29	EY4A	65,9	37	50	41	41		
30	EY5A	62,6	70	90	80	75		
31	EY6A	59,2	55	120	80	60		
32	EY7A	57,2	250	300	275	100<		
33	EY8A	53,6	120	220	170	100<		
34	EY9A	58,4	35	105	95	90		
35	EY10A	55,1	15	45	25	30		
36	AK01	58,4	80	105	95	90		
37	AK02	58,8	100	160	140	60		

Çizelge 4.6. Düşen koni deneyinden elde edilmiş likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri

		Düşen Koni	Ekstrüzyon gerilmesi (kPa)					
Deney adı		LL	1	2	3	saptanan		
38	YY1B	61,0	20	38	28	30		
39	YY2B	75,0	30	45	35	35		
40	CA1B	64,8	30	45	40	40		
41	CA2B	67,0	27	30	29	29		
42	CA3B	70,3	50	85	70	65		
43	MK1B	90,0	3	7	5	7		
44	MK2B	99,3	14	18	16	17		
45	МК3В	62,5	32	55	40	42		
46	MK4B	76,3	25	70	38	45		
47	MK5B	86,0	18	21	20	20		
48	EY1B	57,3	42	60	50	50		
49	EY2B	73,3	1	2	1	1		
50	EY3B	77,1	10	18	17	17		
51	EY4B	76,8	30	55	45	45		
52	EY5B	77,3	34	70	50	50		
53	EY6B	73,0	18	38	29	35		
54	EY7B	68,6	10	10	10	10		
55	EY8B	67,3	2	5	3	5		
56	EY9B	65,8	37	37	37	37		
57	EY10B	68,8	1,50	2,8	2	2		

Çizelge 4.6. Düşen koni deneyinden elde edilmiş likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmeleri

Çizelge 4.6'da zemin numunelerinin düşen koni deneyiyle elde edilen likit limit değerlerinin yanı sıra, değerlendirmeler sonunda likit limitteki en küçük ektrüzyon değeri (1), en büyük ekstrüzyon değeri (2), ve daha yüksek olasılıklı ekstrüzyon değeri (3) ile bunlara göre değerlendirme sonucu elde edilen ektrüzyon değerleri görülmektedir. Değerler 1 kPa – 100 kPa gerilmeleri arasında dağılmış olup, 100 kPa değerinden büyük olan gerilme değerleri çizelgede 100< şeklinde verilmiştir.



Şekil 4.9. Düşen koni deneyinden elde edilen likit limit değerlerine karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerin dağılımı

Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi, düşen koni deneyinden elde edilen likit limitlerdeki ekstrüyon gerilmeleri, Casagrande'deki gibi, grafiğin nispeten küçük değer aralıklarında yoğunlaşmıştır. Düşen koni deneyinde bu yoğunluk daha belirgin olarak ve daha az tabanda dağılarak seyretmiştir. Değerlendirmede 100 kPa değerinden büyük gerilemeler kullanılmamıştır. Bu yöntemle elde edilen likit limit değerlerinden hesaplanan ekstrüzyon gerilmelerinin büyük çoğunluğu, 21 kPa – 60 kPa değer aralığında değişmektedir. Bu aralıktaki gerilme değerlerinin ortalamaları bulunduğunda 41,67 kPa kabaca 40 kPa değeri alınmıştır.

5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Deney aleti olarak 38 mm çaplı hazne ile 6 mm delikli malafa kullanıldığında, 39 adet zemin numunesinin gerilme değerinin 2001 ile 4000 kPa değer aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Aynı aparat ile yapılan ters ekstrüzyon deneyleri Casagrande deney aleti ile belirlenen likit limite karşılık gelen ekstrüzyon gerilmelerinin 41 adedinin 21 ile 60 kPa değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Düşen koni yöntemi ile tespit edilmiş likit limit kıvamındaki zeminlerin ters ekstrüzyon deneyiyle tayin edilen ekstrüzyon gerilmelerinin 35 adedinin 21 ile 60 kPa değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Plastik limit kıvamındaki zeminlerin, 2001 – 4000 kPa ekstrüzyon gerilmesi değer aralığında bulunanları için, ortalama 3000 kPa ve Casagrande çarpmalı aleti ve düşen koni yöntemlerinin her ikisiyle tesbit edilmiş, likit limit kıvamındaki zeminlerin 21 – 60 kPa değer aralığında bulunanları için ortalama 40 kPa ekstrüzyon gerilme değeri önerilmiştir.

Zeminlerin likit limitlerinin tayininde kullanılan Casagrande ve düşen koni yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu iki deney yönteminden düşen koninin zeminlerin likit limit değerlerini Casagrande'ye göre genel ortalama itibarıyla %10 daha büyük verebildiği, fakat deneylerin birbiriyle zeminlerin sınıfını belirlemede %82 oranında uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Ekstrüzyon yöntemi ile kıvam limitlerinin tayininin, diğer deney yöntemlerinin yanı sıra, bu konuda daha önce araştırma yapmış olan Whyte (1982), Kayabalı ve Tüfenkçi (2008) ve diğer araştırmacıların önerdiği gibi alternatif bir yöntem olarak sunulabileceği belirtilmiş, bu konuda daha ileri deneylerin daha geniş zemin yelpazesinde yapılmasının gerekliliği not düşülmüştür.

EKLER



EK-1 Ekstrüzyon deneylerinde kullanılan yükleme düzeneği

EK-2 Ekstrüzyon haznesi



EK-3 Ekstrüzyon haznesi bağlantı aparatı



EK-4 Ekstrüzyon pistonu





EK-5 Desikatörde 24 saat süreyle bekletilen zemin numuneleri

EK-6 Ekstrüzyon aleti yük ölçüm aparatı (load cell)





EK-7 Zemin solucanı Ekstrüzyon haznesinden çıkarken

E	M1	EM	2	EI	M3	E	M4	El	M5	EM6		5
W	d	W	d	w	d (mm)	w	d	w	d	W		d
(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)		(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)
26,7	1,0	25,9	1,6	25,5	1,0	24,6	0,8	27,7	1,2	27,6	1,()
28,8	2,5	29,6	3,8	28,4	1,5	29,7	1,5	29,5	2,2	30,1	$\begin{array}{c} (7.6) \\ 27,6 \\ 30,1 \\ 2,1 \\ 31,2 \\ 34,9 \\ 4,7 \\ 39,7 \\ 6,7 \\ 41,8 \\ 9,3 \\ 48,1 \\ 10 \\ 52,0 \\ 13 \\ 56,8 \\ 18 \\ 52,1 \\ 24 \\ \hline \hline \\ ZM2 \\ \hline \\ w \\ \end{array}$	
37,9	6,8	32,2	4,2	36,3	3,6	33,0	2,7	36,5	2,7	31,2	3,8	3
39,0	7,9	35,4	7,3	37,7	3,8	39,5	6,2	38,9	3,8	34,9	4,7	7
39,9	8,9	37,1	9,5	38,7	4,0	45,6	10,8	40,3	4,9	39,7	6,7	7
42,3	11,2	40,0	13,1	44,4	6,5	52,9	16,9	50,0	10,3	41,8	9,3	3
45,1	13,1	42,1	18,2	48,5	10,2	53,5	18,2	52,6	12,2	48,1	10	,4
47,8	16,4	44,4	23,5	49,7	12,8	56,5	22,9	53,2	14,5	52,0	13	,6
48,6	18,6			51,8	15,6	58,2	23,6	54,4	16,7	56,8	18	,7
50,3	21,1			53,0	16,4			58,2	24,3	62,1	24	,3
52,4	23,1			58,2	21,3							
E	M7	EM	8	EI	M9	EN	A10	ZI	M1	Z	ZM2	2
W	d	w	d	w d		w	d	w	d	W		d
(%)	(mm)	(mm)	(%)		(mm)							
51,6	11,5	29,7	0,6	40,3	1,1	27,8	1,2	24,2	0,3	28,1		0,6
55,8	14,6	37,1	1,0	44,8	2,0	31,3	1,6	26,8	0,8	33,3		0,9
57,6	16,9	38,4	1,2	46,8	2,7	32,0	1,9	28,2	1,4	38,7		1,5
58,2	18,2	40,3	1,4	48,2	3,6	35,9	2,5	35,5	2,4	44,6		1,8
60,4	21,0	44,1	2,4	52,2	5,0	40,4	3,2	38,1	3,4	45,8		2,2
62,5	24,1	54,3	6,9	56,5	5,4	47,5	4,1	47,1	3,6	54,8		4,0
		55,4	8,4	57,8	8,1	55,2	4,7	49,8	4,2	64,5		4,7
		60,6	11,9	63,6	11,1	62,3	/,0	56,3	6,8 10.5	65,3		6,8 10,1
		65,1 74.0	14,5	69,7 70.2	13,/	/8,/	13,2	60,1	10,5	68,5 72 7		10,1
		74,9	23,5	70,5	1/,2	85,1 05 4	10,2	05,4 65.6	11,/	/5,/		11,0
				73,8	21,1 26.0	93,4	21,4	67.2	15,8	83,9 04 7		17,0
				04,9	20,0			76.1	10,5	94,7		22,9
								70,1	22,2			
Z	M3	ZM	4	ZI	M5	YY1A		YY2A		CA1A		A
W	d	W	d	W	d	W	d	W	d	W		d
(%)	(mm)	(mm)	(%)		(mm)							
59,7	11,7	77,6	10,2	25,	4 0,3	52,0	22,7	56,8	5,8	54,4		12,0
64,6	15,4	85,8	14,9	30,	8 0,5	49,7	18,1	61,5	10,7	59,4		28,7
67,4	18,7	87,5	16,2	31,	1 1,0	47,2	11,3	60,7	20,0	56,8		16,8
67,9	25,9	91,2	19,8	42,	6 1,4	45,0	8,8	68,9	22,7	60,2		26,3
68,4	26,6	93,9	21,7	46,	5 1,8					57,3		19,0
69,3	27,3	97,6	26,3	46,	7 2,3					52,4		10,5
				55,	1 3,3							
				66,	1 9,3							
				73,	8 12,9							
				84,	2 18,4							
				92,	0 27,8							

EK-8 Düşen koni deneyi sonuçları

0	CA2A	0	CA3A	M	IK1A	Mŀ	MK2A		K3A	MK4A	
w	d (mm)	W	d (mm)	W	d (mm)	w	d	w	d	w	d (mm)
(%)		(%)		(%)		(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
52,2	13,8	52,2	9,9	60,2	7,1	69,7	11,5	58,7	30,7	53,7	5,3
57,6	25,7	58,2	22,4	70,5	16,8	77,6	21,5	48,7	9,1	63,9	13,5
49,7	11,4	55,0	16,0	74,0	21,2	80,3	25,2	53,2	18,1	68,2	17,9
54,5	19,2	60,6	28,9	77,3	30,2	74,8	17,1	56,1	24,0	74,4	21,9
				63,5	8,7	68,2	9,1				
				67,5	12,6	84,7	30,3				
N	1K5A	E	EY1A	E	Y2A	EY	/3A	E	Y4A		EY5A
w	d (mm)	W	d (mm)	W	d (mm)	w	d	w	d	w	d (mm)
(%)		(%)		(%)		(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
30,5	0,4	53,8	29,2	46,3	8,2	29,2	1,4	60,8	10,6	64,5	27,2
34,4	0,8	45,0	9,1	53,1	14,7	33,3	1,9	65,5	19,1	58,0	11,3
38,6	1,0	47,8	15,8	49,6	11,7	37,1	2,5	63,7	15,2	62,9	22,9
38,9	1,2	50,6	27,2	55,1	15,0	40,1	2,6	68,5	28,1	60,6	15,5
45,2	1,8					45,6	3,3			59,8	14,9
55,8	3,1					49,5	7,3				
75,6	15,9					52,9	11,1				
77,4	17,2					59,2	13,2				
78,2	18,1					61,2	16,0				
79,2	19,1					63,8	17,0				
81,3	20,1					66,5	19,9				
83,2	21,3					67,9	22,1				
F	EY6A	F	EY7A	E	Y8A	EY9A		EY	710A		AK01
w	d(mm)	142	d(mm)	w	d (mm)	w 1	d	w 1	d	142	d(mm)
(%)	a (mm)	(%)	a (mm)	(%)	a (mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	u (mm)
58.8	20.1	27.1	0.7	27.5	0.3	26.5	0.8	30.2	1.1	71.4	31.5
55,4	10,6	33.5	1,9	31.6	0,4	31,4	1.0	32.5	2,1	61.5	31,1
60,7	26,3	37,2	2,6	34,1	1,0	33,1	1,3	35,6	3,8	50,6	6,8
52,4	6,2	39,4	3,2	37,2	1,7	35,0	1,9	39,8	4,1	54,2	11,1
	·	41,5	4,3	38,8	2,2	36,1	2,2	42,4	5,4	56,3	13,8
		52,1	8,0	45,9	3,8	46,8	3,4	48,8	7,4	59,4	22,8
		55,2	15,6	49,6	14,6	48,6	5,2	51,6	14,9		
		55,5	16,5	50,1	14,8	49,1	6,0	52,7	15,9		
		56,0	18,0	51,2	17,5	51,7	10,2	53,2	16,5		
		57,4	20,4	52,5	18,8	55,3	16,5	54,9	19,5		
		59,2	23,2	54,9	23,5	57,7	20,1	55,2	20,2		
				55,5	25,1	59,2	22,2	56,1	22,1		

EK-8 (Devam) Düşen koni deneyi sonuçları

A	AK02	YY	/1B	Y	Y2B	CA	A1B		CA2B	CA3B	
W	d (mm)	W	d	W	d (mm)	w	d	w	d (mm)	w	d (mm)
(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	
71,4	24,6	70,1	34,5	65,8	7,7	71,3	35,5	70,3	27,2	72,7	23,0
61,5	32,7	60,6	22,8	73,8	18,1	60,7	14,2	63,9	16,5	76,2	33,6
50,6	18,6	53,4	11,2	77,4	25,4	62,8	18,7	59,9	12,4	70,5	21,1
54,2	15,9	54,9	13,4	76,4	25,4	65,1	19,9	67,8	21,2	67,3	16,0
56,3	10,4	56,7	14,2	68,1	11,2	67,0	26,3	61,9	13,7	65,3	13,7
59,4	7,8	62,4	23,2	72,6	16,6	58,3	12,6	65,9	18,3	62,5	10,7
		64,5	27,5								
N	/K1B	Mk	K2B	N	IK3B	Mł	MK4B		MK5B	EY1B	
w	d (mm)	w	d	w	d (mm)	w	d	w	d (mm)	w	d (mm)
(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	
53,0	3,6	81,3	8,4	65,8	27,4	70,5	15,0	73,4	10,4	62,0	30,2
58,3	4,4	64,7	3,9	58,5	13,5	77,3	23,4	79,5	14,9	54,6	16,6
60,6	3,9	73,8	6,0	56,4	10,3	79,4	25,1	86,6	23,7	58,7	25,5
71,1	8,7	84,9	8,3	63,4	23,4	75,1	16,8	89,2	23,2	56,8	20,0
77,8	11,8			60,9	18,4	73,3	16,7	76,7	12,1	53,0	13,4
80,7	13,2					68,9	13,0	83,2	18,1		
H	EY2B	EY	'3B	EY4B		EY5B			EY6B	EY7B	
w	d (mm)	w	d	W	d (mm)	W	d	w	d (mm)	w	d (mm)
(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	(mm)	(%)		(%)	
74,2	21,9	71,1	14,2	78,3	25,7	57,7	4,1	58,2	7,5	68,2	20,8
76,6	23,0	74,3	17,5	75,2	22,7	62,0	6,6	64,3	13,7	54,4	6,8
79,8	23,4	77,7	22,5	71,6	17,4	68,3	8,1	69,5	17,8	58,1	9,2
71,1	19,5	80,0	22,5	68,7	12,5	73,6	14,7	76,1	24,2	54,8	5,9
65,1	11,9	67,8	12,7	65,4	9,5	77,5	14,4	79,5	30,0	62,1	12,7
62,0	10,8	83,0	28,8	82,9	31,0	83,0	30,6			64,7	14,3
H	EY8B	EY	'9B	EY10B							
w	d (mm)	W	d	w	d (mm)						
(%)		(%)	(mm)	(%)							
73 5	20.1	72.2	17.6	673	18.8						
15,5	28,1	13,3	17,0	01,0	,-						
56,7	28,1 12,5	75,5 55,9	8,6	62,7	14,9						
56,7 51,1	28,1 12,5 5,8	73,3 55,9 57,2	8,6 9,3	62,7 60,7	14,9 11,0						
56,7 51,1 61,0	28,1 12,5 5,8 17,5	73,3 55,9 57,2 66,4	8,6 9,3 21,5	62,7 60,7 52,5	14,9 11,0 8,6						
56,7 51,1 61,0 64,8	28,1 12,5 5,8 17,5 18,7	75,3 55,9 57,2 66,4 65,2	8,6 9,3 21,5 20,9	62,7 60,7 52,5 46,4	14,9 11,0 8,6 4,7						

EK-8 (Devam) Düşen koni deneyi sonuçları

EK-9 Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri






55,0

60,0

Su içeriği,

w (%)

EK-9 (Devam) Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri

100,00 100,0 Koni penetrasyonu, d' (mm) 00'01 07 EY4B Koni penetrasyonu, d' (mm) EY4A 20 10,0 76.8 65.9 1,00 1,0 ^{60,0} Su içeriği, *w* (%) 65,00 70,00 75,00 80,00 85,0 55,0 65,0 70, Su içeriği, w (%) 100,00 100,0 Koni penetrasyonu, d (mm) 00'01 B EY5A Koni penetrasyonu, d (mm) EY6A 20 10,0 62.6 59.2 1,0 1,00 ^{55,0} Su içeriği, *w* (%) 50,0 65, 55,00 57,00 59,00 61,00 63,00 6<mark>0,</mark>0 65, Su içeriği, w (%) 100,0 100,0 Koni penetrasyonu, d (mm) EYB5 EY6B Koni penetrasyonu, d (mm) 20 20 10,0 10,0 36 77,3 73 1,0 1.0 55,0 60,0 65,0 70,0 75,0 80,0 ^{65,0} Su içeriği, 70,0 W (%) 85 55,0 60,0 75,0 80, Su içeriği, w (%) 100,0 100,0 EY7A Koni penetrasyonu, d (mm) Koni penetrasyonu, d' (mm) EY8A 20 20 10,0 10,0 57,2 53.6 1,0 1,0 52,0 56,0 60, 57,0 58,0 Su içeriği, *w* (%) 50,0 54,0 58,0 55,0 56,0 59,0 60,0 Su içeriği, w (%)

EK-9 (Devam) Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri



EK-9 (Devam) Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri



EK-9 (Devam) Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri

92,4

95,0

90,0

100

100,0 100 YY1A Koni penetrasyonu, d' (mm) MK5B Koni penetrasyonu, d (mm) 20 20 10.0 10 86 51 1,0 1 ^{80,0} 85,0 Su içeriği, *w* (%) 70,0 75,0 90,0 95,0 45 Su içeriği, *w* (%) 40 50 55 100,0 100,0 Koni penetrasyonu, d (mm) YY02 ZM03 Koni penetrasyonu, d (mm) 20 20 10,0 10,0 75 66,9 1,0 1,0 ^{70,0} Su içeriği, *w* (%) 65,0 80,0 75,0 ^{60,0} Su içeriği, *w* (%) 55,0 65,0 70 100 100,00 Koni penetrasyonu, d (mm) YY2A Koni penetrasyonu, d' (mm) 00'01 07 ZM01 20 10 68 74.5 1 1,00 ⁶⁰ Su içeriği, *w* (%) 55 65 50,00 55,00 60,00 65,00 70,00 75,00 80,00 Su ice ăi. W 100,0 100,00 Koni penetrasyonu, d (mm) ZM02 Koni penetrasyonu, d' (mm) ZM04 20 10,0

91.2

90,00 95,00 100

^{75,00} 80,00 85,00 Su içeriği, *w* (%)

1,0

70,0

75,0

80,0

85,0

Su içeriği, w (%)

1,00

65,00

70,00

EK-9 (Devam) Düşen koni deneyi değerlendirme grafikleri

EM1		EM2		EM3		EM4		EM5		EM6	
W	P_E (kPa)	w	P_E (kPa)	w	P_E	W	P_E	w	P_E	W	P_E (kPa)
(%)		(%)		(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	
26,7	3166,0	25,9	1014,7	25,5	4351,0	24,6	4844,4	27,7	2993,2	27,6	2595,2
28,8	1418,0	29,6	424,8	28,4	2136,0	29,7	2318,4	29,5	1885,9	30,1	1643,7
37,9	401,0	32,2	277,7	36,3	780,0	33,0	1245,7	36,5	769,9	31,2	1314,9
39,0	302,8	35,4	174,7	37,7	646,0	39,5	588,3	38,9	547,6	34,9	855,6
39,9	212,8	37,1	118,5	38,7	605,0	45,6	302,8	40,3	375,0	39,7	519,1
42,3	164,4	40,0	91,7	44,4	249,0					41,8	380,6
	EM7	EM8		EM9		EM10		ZM1		ZM2	
w	P_E (kPa)	w	P_E (kPa)	w	P_E	w	P_E	w	P_E	w	P_E (kPa)
(%)		(%)		(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	
28,8	1877,2	29,7	8633,0	40,3	2725,0	27,8	2465,5	24,2	5605,0	28,1	4879,0
31,9	1257,0	37,1	4688,0	44,8	1427,4	31,3	1453,3	26,8	3105,7	33,3	2283,8
33,9	951,6	38,4	3719,0	46,8	934,3	32,0	1366,8	28,2	1366,8	38,7	1254,4
35,7	621,1	40,3	2854,8	48,2	631,5	35,9	733,6	35,5	899,7	44,6	752,6
41,1	346,0	44,1	1349,5	52,2	354,7	40,4	427,3	38,1	527,7	45,8	688,6
				56,5	224,9	47,5	275,1	47,1	429,1		
										CA1A	
	ZM3		ZM4	Z	M5	Y	Y1A	Y	Y2A		CA1A
w	$\frac{ZM3}{P_E (kPa)}$	w	$\frac{ZM4}{P_E (kPa)}$	Z W	P_E	Y W	Y1A P_E	Y W	Y2A P_E	w	$\frac{\text{CA1A}}{P_E (\text{kPa})}$
w (%)	$\frac{ZM3}{P_E (kPa)}$	w (%)	$\frac{ZM4}{P_E (kPa)}$	Z w (%)	P_E (kPa)	Y w (%)	$\begin{array}{c} Y1A \\ P_E \\ (kPa) \end{array}$	Y w (%)	$\begin{array}{c} Y2A \\ P_E \\ (kPa) \end{array}$	w (%)	$\begin{array}{c} \text{CA1A} \\ P_E (\text{kPa}) \end{array}$
w (%) 27,8	$ ZM3 P_E (kPa) 2700,0 $	w (%) 32,4	$\frac{P_E (kPa)}{2770,0}$	Z w (%) 29,0	$\frac{P_E}{(\text{kPa})}$	Y (%) 28,8	$\begin{array}{c} Y1A\\ P_E\\ (kPa)\\ 1998,0 \end{array}$	Y (%) 31,2	Y2A P_E (kPa) 5294,3	w (%) 24,4	CA1A P_E (kPa) 3399,8
w (%) 27,8 31,0	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0	w (%) 32,4 56,7	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0	Z w (%) 29,0 33,4	P_E (kPa) 4020,0 2380,0	Y (%) 28,8 32,8	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0	Y w (%) 31,2 37,7	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7	w (%) 24,4 36,6	CA1A <i>P_E</i> (kPa) 3399,8 1712,9
w (%) 27,8 31,0 37,2	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0	w (%) 32,4 56,7 39,1	ZM4 <i>P_E</i> (kPa) 2770,0 345,0 1325,0	Z w (%) 29,0 33,4 37,9	$ M5 P_E (kPa) 4020,0 2380,0 1385,0 $	Y (%) 28,8 32,8 33,1	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0	Y w (%) 31,2 37,7 37,9	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7	w (%) 24,4 36,6 39,1	CA1A P _E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9	$ M5 P_E (kPa) 4020,0 2380,0 1385,0 1080,0 $	Y (%) 28,8 32,8 33,1 37,1	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8	Y (%) 31,2 37,7 37,9 42,1	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3		Y (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0	Y (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5		Y (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5	$\begin{array}{c} \text{M5} \\ \hline P_E \\ \text{(kPa)} \\ \hline 4020,0 \\ 2380,0 \\ 1385,0 \\ 1080,0 \\ 630,0 \\ 485,0 \\ \end{array}$	Y (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 w	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa)	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 w	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 ZA3A P_E (kPa)	Z W (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M W		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M w	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E	W (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa)
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 w (%)	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 0 w (%) (%)	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa)	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M w (%)		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M w (%)	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa)	Y (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%)	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa)	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa)
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 w (%) 29,8	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8	Z W (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M W (%) 32,5		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M w (%) 33,3	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa) 2837,0	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6 28,0	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0 1669,6	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 0 w (%) 29,8 30,0	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8 2147,7	Z W (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M W (%) 32,5 37,0		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 W (%) 33,3 37,1	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa) 2837,0 1903,0	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3 35,4	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0 744,0	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8 1 w (%) 29,7 35,8	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9 2188,7
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6 28,0 29,7	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0 1669,6 1237,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 W (%) 29,8 30,0 33,7	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8 2147,7 1989,7	Z W (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M W (%) 32,5 37,0 41,1		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M w (%) 33,3 37,1 41,7	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa) 2837,0 1903,0 1263,0	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3 35,4 38,1	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0 744,0 493,0	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8 1 w (%) 29,7 35,8 35,9	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9 2188,7 1686,9
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6 28,0 29,7 36,0	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0 1669,6 1237,0 692,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 0 0 0 29,8 30,0 33,7 34,7	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8 2147,7 1989,7 1522,5	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M w (%) 32,5 37,0 41,1 45,4		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 W (%) 33,3 37,1 41,7 45,6	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa) 2837,0 1903,0 1263,0 908,0	Y (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3 35,4 38,1 44,1	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0 744,0 493,0 286,0	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8 w (%) 29,7 35,8 35,9 41,7	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9 2188,7 1686,9 1107,3
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6 28,0 29,7 36,0 37,2	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0 1669,6 1237,0 692,0 571,0	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 (%) (%) 29,8 30,0 33,7 34,7 37,6	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8 2147,7 1989,7 1522,5 1012,1	Z w (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M w (%) 32,5 37,0 41,1 45,4 48,3		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 W (%) 33,3 37,1 41,7 45,6 50,3	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 IK2A P_E (kPa) 2837,0 1903,0 1263,0 908,0 649,0	Y (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3 35,4 38,1 44,1 44,2	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0 744,0 493,0 286,0 285,5	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8 1 w (%) 29,7 35,8 35,9 41,7 45,2	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9 2188,7 1686,9 1107,3 545,0
w (%) 27,8 31,0 37,2 36,8 40,9 43,9 (%) 26,6 28,0 29,7 36,0 37,2 42,8	ZM3 P_E (kPa) 2700,0 1685,0 840,0 890,0 560,0 425,0 CA2A P_E (kPa) 2197,0 1669,6 1237,0 692,0 571,0 259,5	w (%) 32,4 56,7 39,1 42,3 47,4 51,5 0 (%) 29,8 30,0 33,7 34,7 37,6 46,7	ZM4 P_E (kPa) 2770,0 345,0 1325,0 1055,0 675,0 475,0 CA3A P_E (kPa) 3399,8 2147,7 1989,7 1522,5 1012,1 528,6	Z W (%) 29,0 33,4 37,9 40,9 45,3 49,5 M W (%) 32,5 37,0 41,1 45,4 48,3 53,1		Y w (%) 28,8 32,8 33,1 37,1 39,4 42,1 M (%) 33,3 37,1 41,7 45,6 50,3 53,7	Y1A P_E (kPa) 1998,0 1168,0 1003,0 648,8 441,0 242,2 K2A P_E (kPa) 2837,0 1903,0 1263,0 908,0 649,0 467,0	Y w (%) 31,2 37,7 37,9 42,1 46,8 51,7 M w (%) 35,3 35,4 38,1 44,1 44,2 49,3	Y2A P_E (kPa) 5294,3 2361,7 1790,7 1418,7 873,7 461,1 K3A P_E (kPa) 1055,0 744,0 493,0 286,0 285,5 156,0	w (%) 24,4 36,6 39,1 41,3 45,2 50,8 1 w (%) 29,7 35,8 35,9 41,7 45,2 52,5	CA1A P_E (kPa) 3399,8 1712,9 1314,9 893,6 663,5 240,5 MK4A P_E (kPa) 4584,9 2188,7 1686,9 1107,3 545,0 337,4

EK-10 Ekstrüzyon deneyi sonuçları

N	ИК5А	I	EY1A	I	EY2A		EY3A		EY4A		EY5A	
W	P_E (kPa)	W	P_E (kPa)	W	P_E (kPa)	w	P_E	W	P_E	w	P_E (kPa)	
(%)		(%)		(%)		(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)		
30,5	3477,6	31,1	2993,0	26,2	1211,1	29,2	1661,0	31,4	2898,0	37,3	4152,0	
34,4	1834,0	31,9	2820,0	32,1	579,6	33,3	865,1	34,2	2102,0	40,4	2708,0	
38,6	1346,1	32,1	1955,0	35,1	250,9	37,1	697,3	35,8	1678,0	44,2	1540,0	
38,9	1020,8	35,1	1124,6	37,4	201,6	40,1	500,0	41,6	666,0	47,0	943,0	
45,2	683,4	36,7	640,2	41,8	164,2	45,6	242,2	47,7	315,0	50,0	675,0	
55,8	365,1	40,0	302,8	45,5	105,5	49,5	124,6	49,0	276,0	52,5	458,0	
I	EY6A	EY7A		EY8A		EY9A		EY10A		AK01		
W	P_E (kPa)	W	P_E (kPa)	W	P_E (kPa)	w	P_E	W	P_E	w	P_E (kPa)	
(%)		(%)		(%)		(%)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)		
36,6	4022,6	27,1	8045,0	27,5	5605,7	26,5	3564,0	30,2	1756,0	30,5	3420,0	
41,9	1730,2	33,5	4948,0	31,6	4429,0	31,4	2033,0	32,5	605,0	33,2	2335,0	
52,8	207,6	37,2	3685,0	34,1	2163,0	33,1	1713,0	35,6	370,0	36,8	1555,0	
45,0	1124,6	39,4	2958,0	37,2	1090,0	35,0	882,0	39,8	270,0	40,4	995,0	
34,3	6315,1	41,5	1816,7	38,8	735,0	36,1	467,0	42,4	200,0	44,1	605,0	
48,7	519,0	52,1	254,0	45,9	372,0	46,8	254,0	48,8	115,1	46,4	460,0	
1	AK02	Y	Y1B	Ŋ	YY2B	C	A1B	0	CA2B	0	CA3B	
w	$\frac{AK02}{P_E (kPa)}$	w Y	$\frac{P_E (kPa)}{P_E (kPa)}$	w	$\frac{1}{P_E (\text{kPa})}$	C W	A1B P_E	w	P_E	w	CA3B P_E (kPa)	
W (%)	$\frac{AK02}{P_E (kPa)}$	w (%)	$P_E (kPa)$	w (%)	$\frac{P_E (kPa)}{P_E (kPa)}$	C w (%)	$A1B$ P_E (kPa)	W (%)	$\begin{array}{c} P_E \\ (\text{kPa}) \end{array}$	w (%)	$\frac{P_E (\text{kPa})}{P_E (\text{kPa})}$	
w (%) 33,2	$\frac{AK02}{P_E (kPa)}$ 2310,0	w (%) 25,3	$P_E (kPa)$ 3936,0	w (%) 32,7	$P_E (kPa)$ 3720,0	C w (%) 32,1	A1B P_E (kPa) 2145,0	w (%) 31,4	$\begin{array}{c} P_E \\ (\text{kPa}) \\ 1990,0 \end{array}$	w (%) 33,8	$\frac{P_E (\text{kPa})}{2855,0}$	
<i>w</i> (%) 33,2 36,3	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0	W (%) 25,3 30,9	$\begin{array}{c} P_E (kPa) \\ \hline \\ 3936,0 \\ 1644,0 \end{array}$	w (%) 32,7 37,1	Y2B <i>P_E</i> (kPa) 3720,0 1990,0	C w (%) 32,1 38,0	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0	w (%) 31,4 34,8	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ 1990,0 \\ 1298,0 \end{array}$	w (%) 33,8 37,9	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0	w (%) 25,3 30,9 34,6	$\begin{array}{c} P_E \ (kPa) \\ \hline \\ 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2	Y2B <i>P_E</i> (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0	w (%) 31,4 34,8 37,8	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \end{array}$	w (%) 33,8 37,9 41,7	$\begin{array}{c} \text{CA3B} \\ \hline P_E \text{ (kPa)} \\ \hline 2855,0 \\ 1730,0 \\ 1125,0 \end{array}$	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0	Y1B <i>P_E</i> (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7	YY2B <i>P_E</i> (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0	W (%) 32,1 38,0 37,7 42,0	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \end{array}$	w (%) 33,8 37,9 41,7 44,2	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9	$\begin{array}{c} Y1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0	$\begin{array}{c} YY2B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3720,0 \\ 1990,0 \\ 1099,0 \\ 865,0 \\ 415,0 \end{array}$	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ \end{array}$	w (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3	$\begin{array}{c} \text{CA3B} \\ \hline P_E \text{ (kPa)} \\ \hline 2855,0 \\ 1730,0 \\ 1125,0 \\ 900,0 \\ 701,0 \end{array}$	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8	$\begin{array}{c} Y1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0	$\begin{array}{c} YY2B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3720,0 \\ 1990,0 \\ 1099,0 \\ 865,0 \\ 415,0 \\ 614,0 \end{array}$	W (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5 47,3	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3	CA3B P _E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0	W (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8	$\begin{array}{c} Y1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0	$\begin{array}{c} YY2B \\ \hline P_E (kPa) \\ 3720,0 \\ 1990,0 \\ 1099,0 \\ 865,0 \\ 415,0 \\ 614,0 \end{array}$	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5 47,3	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3	$\begin{array}{c} \text{CA3B} \\ \hline P_E \text{ (kPa)} \\ \hline 2855,0 \\ 1730,0 \\ 1125,0 \\ 900,0 \\ 701,0 \\ 562,0 \end{array}$	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2	AK02 <i>P_E</i> (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B	W (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8	Y1B P _E (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0 372,0 199,0 4K2B	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0	YY2B P _E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M	P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_{2} \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline 1K5B \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3	$\begin{array}{c} \text{CA3B} \\ \hline P_E \text{ (kPa)} \\ \hline 2855,0 \\ 1730,0 \\ 1125,0 \\ 900,0 \\ 701,0 \\ 562,0 \\ \hline \text{CY1B} \end{array}$	
W (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 M W	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa)	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 W	$\begin{array}{c} VY1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \\ \hline 4K2B \\ \hline P_E (kPa) \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 W	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M w	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5 47,3 W	$\begin{array}{c} P_{E} \\ (kPa) \\ \hline P_{E} \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ IK5B \\ \hline P_{E} \\ 28 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa)	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 N w (%)	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa)	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 w (%)	$\begin{array}{c} VY1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \\ \hline MK2B \\ \hline P_E (kPa) \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 w (%)	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa)	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M w (%)	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa)	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3 W (%)	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ 1K5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%)	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa)	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 N w (%) 31,4	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa) 3287,0	W (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 W (%) 30,8	$Y1B$ P_E (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0 372,0 199,0 4K2B P_E (kPa) 3979,0	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 w (%) 27,0	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa) 3028,0	$ \begin{array}{r} C \\ \hline w \\ (\%) \\ 32,1 \\ 38,0 \\ 37,7 \\ 42,0 \\ 45,1 \\ 48,0 \\ \hline w \\ (\%) \\ \hline w \\ (\%) \\ 31,6 \\ \end{array} $	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa) 2941,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3 w (%) 32,3	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline 1K5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ 2422,0 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%) 31,7	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0	
W (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 M (%) 31,4 34,3	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa) 3287,0 2379,0	W (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 W (%) 30,8 36,5	$Y1B$ P_E (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0 372,0 199,0 4K2B P_E (kPa) 3979,0 2076,0	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 w (%) 27,0 31,3	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 <i>M</i> K3B P_E (kPa) 3028,0 1817,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M w (%) 31,6 35,3	P_E P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 467,0 K4B P_E (kPa) 2941,0 1825,0 1825,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5 47,3 W (%) 32,3 36,3	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ IK5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ 2422,0 \\ 1514,0 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%) 31,7 33,9	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0 2535,0	
W (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 M (%) 31,4 34,3 43,6	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 AK1B P_E (kPa) 3287,0 2379,0 865,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 W (%) 30,8 36,5 41,6	$Y1B$ P_E (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0 372,0 199,0 MK2B P_E (kPa) 3979,0 2076,0 1272,0	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 W (%) 27,0 31,3 35,0	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa) 3028,0 1817,0 1012,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M w (%) 31,6 35,3 37,8	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa) 2941,0 1825,0 1055,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3 W (%) 32,3 36,3 41,9	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline K5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 2422,0 \\ 1514,0 \\ 926,0 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%) 31,7 33,9 37,5	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0 2535,0 1324,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 N w (%) 31,4 34,3 43,6 44,1	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa) 3287,0 2379,0 865,0 822,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 w (%) 30,8 36,5 41,6 52,4	$\begin{array}{c} VY1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \\ \hline \\ MK2B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline \\ 3979,0 \\ 2076,0 \\ 1272,0 \\ 623,0 \\ \hline \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 w (%) 27,0 31,3 35,0 40,7	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa) 3028,0 1817,0 1012,0 614,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M w (%) 31,6 35,3 37,8 41,5	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa) 2941,0 1825,0 1055,0 735,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3 w (%) 32,3 36,3 41,9 44,8	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ K5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ 2422,0 \\ 1514,0 \\ 926,0 \\ 735,0 \\ \hline \end{array}$	w (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E w (%) 31,7 33,9 37,5 41,3	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0 2535,0 1324,0 727,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 M (%) 31,4 34,3 43,6 44,1 47,0	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa) 3287,0 2379,0 865,0 822,0 649,0	w (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 w (%) 30,8 36,5 41,6 52,4 47,1	$\begin{array}{c} Y1B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline 3936,0 \\ 1644,0 \\ 986,0 \\ 580,0 \\ 372,0 \\ 199,0 \\ \hline \\ 4K2B \\ \hline P_E (kPa) \\ \hline \\ 3979,0 \\ 2076,0 \\ 1272,0 \\ 623,0 \\ 900,0 \\ \hline \end{array}$	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 w (%) 27,0 31,3 35,0 40,7 44,1	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa) 3028,0 1817,0 1012,0 614,0 407,0	C w (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 W (%) 31,6 35,3 37,8 41,5 44,9	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa) 2941,0 1825,0 1055,0 735,0 502,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 44,5 47,3 W (%) 32,3 36,3 41,9 44,8 48,1	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ IK5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 2422,0 \\ 1514,0 \\ 926,0 \\ 735,0 \\ 536,0 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%) 31,7 33,9 37,5 41,3 44,0	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0 2535,0 1324,0 727,0 450,0	
w (%) 33,2 36,3 39,7 42,4 46,3 50,2 N w (%) 31,4 34,3 43,6 44,1 47,0 51,5	AK02 P_E (kPa) 2310,0 1645,0 1065,0 795,0 545,0 365,0 MK1B P_E (kPa) 3287,0 2379,0 865,0 822,0 649,0 407,0	W (%) 25,3 30,9 34,6 39,0 42,9 46,8 W (%) 30,8 36,5 41,6 52,4 47,1 57,4	$Y1B$ P_E (kPa) 3936,0 1644,0 986,0 580,0 372,0 199,0 4K2B P_E (kPa) 3979,0 2076,0 1272,0 623,0 900,0 450,0	w (%) 32,7 37,1 42,2 45,7 53,0 49,0 W (%) 27,0 31,3 35,0 40,7 44,1 46,5	$YY2B$ P_E (kPa) 3720,0 1990,0 1099,0 865,0 415,0 614,0 MK3B P_E (kPa) 3028,0 1817,0 1012,0 614,0 407,0 311,0	C W (%) 32,1 38,0 37,7 42,0 45,1 48,0 M W (%) 31,6 35,3 37,8 41,5 44,9 46,7	A1B P_E (kPa) 2145,0 1038,0 952,0 640,0 467,0 320,0 K4B P_E (kPa) 2941,0 1825,0 1055,0 735,0 502,0 407,0	w (%) 31,4 34,8 37,8 37,8 44,5 47,3 W (%) 32,3 36,3 41,9 44,8 48,1 53,7	$\begin{array}{c} P_E \\ (kPa) \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ \hline 1990,0 \\ 1298,0 \\ 830,0 \\ 865,0 \\ 381,0 \\ 268,0 \\ \hline \\ IK5B \\ \hline P_E \\ (kPa) \\ 2422,0 \\ 1514,0 \\ 926,0 \\ 735,0 \\ 536,0 \\ 355,0 \\ \hline \end{array}$	W (%) 33,8 37,9 41,7 44,2 47,3 50,3 E W (%) 31,7 33,9 37,5 41,3 44,0 46,1	CA3B P_E (kPa) 2855,0 1730,0 1125,0 900,0 701,0 562,0 EY1B P_E (kPa) 3331,0 2535,0 1324,0 727,0 450,0 277,0	

EK-10 (Devam) Ekstrüzyon deneyi sonuçları

EY2B		EY3B		EY4B		EY5B		EY6B		EY7B	
W	P_E (kPa)	w	P_E	w	P_E (kPa)	W	P_E (kPa)	W	P_E	W	P_E
(%)		(%)	(kPa)	(%)		(%)		(%)	(kPa)	(%)	(kPa)
25,0	2206,0	30,5	1644,0	37,8	4715,0	39,8	2500,0	35,0	5969,0	43,9	1185,0
34,2	614,0	33,5	1003,0	42,7	2569,0	35,0	4585,0	38,9	3426,0	33,5	8374,0
31,2	865,0	38,3	606,0	45,3	1920,0	47,2	1315,0	41,5	2353,0	37,9	3754,0
37,4	415,0	42,9	398,0	49,5	1142,0	47,3	882,0	44,8	1427,0	49,4	433,0
41,1	329,0	50,6	208,0	54,6	519,0	34,2	6488,0	48,5	683,0	53,6	190,0
45,2	208,0	45,5	294,0	63,7	164,0	50,4	779,0	51,0	433,0		
				36,3	5969,0	39,6	3313,0				
				42,1	3201,0	46,0	1609,0				
				46,0	1972,0	54,6	433,0				
				49,9	1306,0	60,4	225,0				
				51,6	978,0						
				58,3	467,0						
I	EY8B	E	Y9B	E	Y10B						
w	P_E (kPa)	W	P_E	W	P_E (kPa)						
(%)		(%)	(kPa)	(%)							
33,4	3815,0	30,8	3028,0	31,7	805,0						
36,9	1730,0	34,0	2076,0	40,3	251,0						
38,2	1453,0	37,3	1367,0	35,9	571,0						
42,4	502,0	41,8	796,0	37,7	329,0						
45,0	311,0	43,8	588,0	27,5	1298,0						
48,4	182,0	46,5	407,0	24,2	2941,0						

EK-10 (Devam) Ekstrüzyon deneyi sonuçları



EK-11 Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-11 (Devam) Ekstrüzyon deneylerinin değerlendirmesinde kullanılan grafikler



EK-12 Casagrande Çarpmalı Aleti ile likit limit deneyi yapılışı

EK-13 Düşen koni yöntemiyle likit limit deneyi yapılışı



EK-14 Ekstrüzyon deneyi yapılışı



KAYNAKLAR

- 1. Skempton, A. W. and Northey, R. D. "The sensitivity of clays". *Geotech.* 3: 30-53 (1952).
- Whyte, I. L., "New approach for using extrusion soil plasticity and strength", *Ground Engineering*, 15(1): 16-24 (1982).
- Karlsson, R., "Suggested improvements in the liquid limit test with reference to the flow properties of remoulded clays". *Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.* Paris 1: 171-184 (1961).
- Sherwood, P. T. and Rilly, D. M., "An examination of cone-penetrometer methods for determining the liquid limit of soils", *TRRL*, Crowthorne LR233, (1968).
- Sherwood, P. T. and Ryley, M. D., "An investigation of a cone penetrometer method for the determination of the liquid limit", *Geotech.*, 20(2): 203-208 (1970).
- 6. Sherwood, P. T., "The reproducibility of the results of soil classification and compaction tests", *TRRL*., Croetrorne LR 339, (1970).
- Towner, G. D., "An examination of the fall-cone method for the determination of some strength properties of remolded agricultural soils", *J. SoilSci.*, 24(4): 470-479 (1973).
- Belviso, R., Ciampoli, S., Cotecchia, V., and Federico, A., "Use of the cone penetrometer to determine consistency limits", *Ground Eng.*, 18(5): 21-22 (1985).
- 9. Wroth, C. P., "Correlations of some engineering properties of soils", proceedings, *2nd International Conference B.O.S.S.*, London, 121-132 (1979).
- 10. Wroth, C. P. and Wood, D. M., "The Correlation of index properties with some basic engineering properties of soils", *Can. Geotech. J*, 15(2): 137-145 (1978).
- 11. Sivapullaiah, P. V. and Sridharan, A., "Liquid limit of soil mixtures". *Geotech. Test. J.*, 8(3): 111-116 (1985).
- 12. Sridharan, A. and Nagaraj, H. B., "Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils", Ground Improvement, 9(1): 17-22 (2005).
- 13. Wasti, Y. and Bezirci, M. H., "Determination of the consistency limits of soils by the fall-cone test", *Can. Geotech. J.*, 23: 241-246 (1986).

- 14. Harison, J. A, , "Using the BS cone penetrometer for the determination of plastic limits of soils", *Geotechnique*, 38: 433-438 (1988).
- Koester, J. P., "The influence of test procedure on correlation of Atterberg Limits with Liquefaction in Fine-grained Soils", *Geotech. Test. J.*, 15(4): 352 -361 (1992).
- 16. Feng, T., "Fall-cone penetration and water content relationship of clays", *Geotechnique*, 50(2): 181-187 (2000).
- 17. Feng, T., "Using a small ring and a fall-cone to determine the plastic limit", *J. Geotech.Geoenviron. Eng.*, 130(6): 630-635 (2004).
- 18. Lee, L. T. and Freeman, R. B., "An alternative test method for assessing consistency limits", *Geotech.*, 30(4):1-8 (2007).
- 19. WES, , "Evaluation of available liquid limit devices", Report 3, Misc., *U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station*, Vicksburg MS, 3-478 (1961a).
- WES, "Determination of liquid and plastic limits of soils by the cone penetration method", Report 4, Misc., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg MS, 3-478 (1961b).
- Casagrande, A., "Research on the Attaberrg limits of soils", U.S. Bureau of Public Roads, 13(8): 121-130 (1932).
- 22. Warkentin, B. P., "Interpretation of the upper plastic limit of clays", *Nature*, 190: 287-288 (1961).
- Karlsson, R., "Consistency limits: A manuel for the performance and interpretation of laboratory investigations", *Swedish Council of Bldg*, Research (6), Bengtsteen, Ed., (1977).
- Nagaraj, T. S. and Jayadeva, M. S., "Re-examination of one-point methods of liquid limit determination", *Geotech.*, 31(3): 413-425 (1981).
- Nagaraj, T. S., Murthy, B. R. S. and Bindumadhava, V., "Liquid limit determination-further simplified", *Geotech. Test. J.*, 10(3): 142-145 (1987).
- 26. Kumar, G. V. and Muir, Wood D., "Fall-cone and compression tests on claygravel mixtures", *Geotech.* 49(6): 727-739 (1999).
- 27. Prakash,K. and Sridharan, A., "Determination of liquid limit from equilibrium sediment volume", *Geotech.*, 52(9): 693-696 (2002).

- 28. Lee, L. T., "Method to rapidly assess the index properties of fine-grained dredged materials", *Geotech. Test. J.*, 27(5): 464-468 (2004).
- 29. Timar, A., "Testing the plastic properties of cohesive and intermediate-type soils by extrusion". *Acta Tech. Ac. Sci.*, Hung. 76 (3-4): 355-370 (1974).
- Medhat, F., Whyte, I. L., "An apprasial of soil index tests", Geological Society, *Engineering Geology Special Publication*, Manchester, 2: 317-323 (1986).
- Kayabalı, K., "Plastik limit ve likit limit için yeni bir yaklaşım", Geoteknik Sempozyumu, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, Adana*, 75-87 (2008).
- 32. Kayabalı K. and Tüfenkçi O. O., "Determination of plastic and liquid limits using the reverse extrusion technique" *Geotechnical Testing Journal*, 33(1): 14-22 (2010a).
- Kayabalı K. and Tüfenkçi O. O., "Undrained shear strength of remolded soils at consistency limits" *Canadian Geotechnical Journal*, 47(3): 259-266 (2010b)
- 35. Türk Standardı 1901-1, "Likit limitin ve plastik limitin tayini", *TSE*, Deney 2(B) Ankara, 14-24, (2006).
- 34. ASTM D 4318, "Standart Test methods for liquid limit, plastik limit and plasticity index of soils", *Annual Book of ASTM Standarts* 4(1): 1-14 (2000)
- Dieter, G. E. "Ekstrusion", Mechanical Metallurgy, *McGraw-Hill*, 616-618 (1988).

ÖZGEÇMİŞ

Kisisel Bilgiler

Soyadı, adı	: BEŞPARMAK, ÖMER
Uyrugu	: T.C.
Dogum tarihi ve yeri	: 22.08.1981 ANKARA
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (312) 566 23 85
e-mail	: omarbesparmak@hotmail.com

Egitim

Derece	Egitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y. Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2006
Lise	Ankara İncirli YDA Lisesi	1999

Yabancı Dil

İngilizce

İş Deneyimleri

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	KPM Mühendislik	Proje Mühendisi
	Karayolu Demiryolu Projeleri	
2006-2008	Altyapı Mühendislik	Proje Mühendisi
	Karayolu Demiryolu Projeleri	