

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNCE TANELİ ZEMİNLERDE TANE BOYUNUN KIVAM LİMİTLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa TOPCU

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2011**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNCE TANELİ ZEMİNLERDE TANE BOYUNUN KIVAM LİMİTLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa TOPCU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Likit limit, plastik limit ve büzülme limiti deneyleri istisnasız biçimde 40 numaralı elek altı malzeme üzerinde yapılmaktadır. Ne var ki, 40 numaralı elek altı malzeme birçok durumda önemli oranda iri malzeme içerebilmektedir. Bu durumda, esasta ince taneli zeminleri sınıflamaya yönelik olarak geliştirilen deney yöntemleriyle bazen inceden daha çok iri zemin içeren numunelerin test edilmesiyle teknik bir hata yapıldığı düşünülmektedir.

Çalışmanın hipotezi, kıvam limiti deneylerinde kullanılan malzemenin tane boyu değiştikçe özgül yüzeyin değişeceği; bunun da kıvam limitlerini değiştireceği, plastisite indeksinde fazla bir değişiklik olmayacağı ve/fakat likit limit değiştiği için özellikle sınır durumu zemin sınıfını kolaylıkla değiştirebileceğidir.

İncelemede Ankara kiline ait, farklı lokasyonlardan alınmış, plastiklik derecesi farklı elli çeşit zemin kullanılmıştır. Araziden çuvallarla derlenen numuneler laboratuvarında kurutulduktan sonra ikiye bölünmüş; bir yarısı 40 numaralı diğer yarısı da 200 numaralı elekten geçirilmek suretiyle yeterli miktarda elli çift deney numunesi hazırlanmıştır. Yöntem olarak plastik, likit ve büzülme limitleri ile düşen koni ve ters ekstrüzyon deneyleri kullanılmıştır.

40 numaralı elek altı malzeme üzerinde yapılan bu altı çeşit deneyden elde edilen limit su içerikleri 200 numaralı elek altı malzeme üzerinde yapılan aynı tip deneylerden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. 200 numaralı elek altı malzeme kullanılarak elde edilen limit su içeriklerinin 40 numaralı elek altı malzeme kullanılarak elde edilenlerden %30'a varan oranlarda daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışma hipotezinde öngörüldüğü gibi, sınır durumu zeminlerin sınıflarında önemli değişimler gözlenmiş; standart yöntemlere göre kil olarak sınıflanmışken 200 numaralı elek altı malzemeye göre silt olduğu ortaya çıkmıştır.

Ekim 2011, 123 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atterberg limitleri, zemin kıvamı, zemin sınıfı, Casagrande yöntemi, düşen koni, ters ekstrüzyon

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GRAIN SIZE OF FINE GRAINED SOILS ON CONSISTENCY LIMITS

Mustafa TOPCU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Liquid limit, plastic limit and shrinkage limit tests have been conducted unexceptionally on passing the No. 40 sieve material. Nevertheless, the ratio of coarse material in passing the No. 40 sieve material may be substantially high in many cases. Thus, there is a technical mistake in that the testing method developed basically for fine grained soils is carried out on soils which consist considerable amount of coarse material.

The hypothesis of this investigation is that the specific surface should change as the grain size of the testing material for the consistence limit changes. Following this, the water content at critical states should change. While the expected deviation in the plasticity index is not important, the change in liquid limit should shift the class of particularly border case soils.

Fifty bulk samples which called Ankara clay with different levels of plasticity were collected from different locations. Those bag samples were first oven dried and later halved; one half was sieved through No. 40 mesh and the other half was sieved using No. 200 mesh. Thus, fifty pairs of testing material with sufficient amount were prepared. As for the methods, the consistence tests of shrinkage, plastic and liquid limits as well as the falling cone and reverse extrusion tests were employed.

The water contents corresponding to critical soil states obtained from those six types of tests using the passing the No. 40 sieve material were compared with those obtained from using passing the No. 200 sieve material. It was observed the latter sets of water contents were about up to 30% higher than the former sets of water contents.

Finally, significant changes were observed with the status of border-case soils as hypothesized. The comparison revealed that some soils previously designated to be clay according to the present system were shifted to silts.

October 2011, 123 pages

Key Words : Atterberg limits, soil consistence, soil classification, Casagrande method, fall cone method, reverse extrusion method

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, birçok kez fikirlerine başvurduğum, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kamil KAYABALI'ya (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı) şükranlarımı sunarım.

Tezimin laboratuvar çalışması kapsamında, yardım ve desteklerini gördüğüm Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü yüksek lisans öğrencileri Mehmet Can BALCI ve Sevgi ÖZAYDIN'a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip annem, babam ve kardeşime en derin saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca her aşamada desteğini esirgemeyen işyeri amirim sayın Mevlüt Feridun AKGÜL'e teşekkür ederim.

Mustafa TOPCU

Ankara, Ekim 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER.....	7
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	9
3.1 Plastik Limit Tayini	9
3.1.1 Elle yuvarlama yöntemi ile plastik limit tayini (ASTM D 4318-00).....	9
3.2 Likit Limit Tayini.....	12
3.2.1 Casagrande aleti ile likit limit tayini (ASTM D 4318-00).....	12
3.2.2 Koni penetrasyon yöntemi ile plastik limit tayini (BS 1377 – 2).....	17
3.3 Büzülme (Rötire) Limiti Tayini	20
3.3.1 Cıvalı yöntem (Hacimsel büzülme) ile büzülme limiti tayini (ASTM D 427–98)	20
3.3.2 Parafinli yöntem ile büzülme limiti tayini (ASTM D 4943–02)	22
3.4 Ters Ekstrüzyon Yöntemi	27
4. DENEYSEL BULGULAR	36
4.1 Plastik Limit	36
4.1.1 Elle yuvarlama yöntemi ile plastik limit tayini sonuçları.....	36
4.2 Likit Limit.....	38
4.2.1 Casagrande aleti ile likit limit tayini sonuçları	38
4.2.2 Koni penetrasyon yöntemi ile likit limit tayini sonuçları	38
4.3 Büzülme (Rötire) Limiti.....	39
4.3.1 Cıvalı yöntem (Hacimsel büzülme) ile büzülme limiti tayini sonuçları	39
4.3.2 Parafinli yöntem ile büzülme limiti tayini sonuçları.....	42
4.4 Ters Ekstrüzyon Yöntemi Sonuçları	42
4.5 Farklı Yöntemler ile Elde Edilen Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	42
5. TANE BOYUNA DAYALI KARŞILAŞTIRMALAR.....	55
6. SONUÇLAR	76
KAYNAKLAR	78
EKLER.....	80
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları.....	81
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları	102
ÖZGEÇMİŞ.....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yeni bir plastisite kartı.....	5
Şekil 2.1 Zeminlerin öğütülmesinde kullanılan makine	7
Şekil 3.1 Plastik limit yuvarlama aleti	10
Şekil 3.2 Casagrande likit limit aleti	13
Şekil 3.3 Oluk açma bıçağı	14
Şekil 3.4 Ölçü bloğu.....	15
Şekil 3.5 Casagrande aletinin kalibrasyonu	15
Şekil 3.6 Koni penetrasyon aleti	18
Şekil 3.7 Koni ve düşürme düzeneği ile koni ucunun kontrolü	19
Şekil 3.8 Büzülme limitinde kullanılan cam plaka ve taşan cıvanın belirlenmesi.....	21
Şekil 3.9 Doğrudan ekstrüzyon ve ters ekstrüzyonun şematik gösterimi	28
Şekil 3.10 Doğrudan ekstrüzyonda ve ters ekstrüzyonda ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi arasındaki ilişki.....	29
Şekil 3.11 Ters ekstrüzyon deneyinde kullanılan tek eksenli basınç aleti ile deneyde kullanılan hazne ve piston.....	31
Şekil 3.12 Ters ekstrüzyon deneyinde kullanılan hücre ve pistonun teknik resimleri	32
Şekil 3.13 Haznenin ve pistonun ters ekstrüzyon makinesine yerleştirilmesi ve zemin solucanının gözlem olduğundan çıkışı	33
Şekil 3.14 15 numaralı numunenin farklı su içeriklerinde ölçülen ekstrüzyon basınçları	34
Şekil 3.15 07 numaralı numunenin ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik ve likit limit değerlerinin belirlenmesi	35
Şekil 4.1 02 numaralı numunenin Casagrande aleti ile likit limitinin belirlenmesi	38
Şekil 4.2 10 numaralı numunenin koni penetrasyon yöntemi ile likit limitinin belirlenmesi	39
Şekil 4.3 01 numaralı numunenin ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik limit ve likit limitlerinin belirlenmesi	46
Şekil 4.4 Elle yuvarlama ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen plastik limitlerin karşılaştırılması	47
Şekil 4.5 Casagrande aleti ile ve koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	47
Şekil 4.6 Casagrande aleti ile ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	48
Şekil 4.7 Koni penetrasyon ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	51
Şekil 4.8 Cıvalı yöntem ve parafinli yöntem ile elde edilen büzülme limitlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 5.1 Elle yuvarlama yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin PL dağılımları	55
Şekil 5.2 Casagrande yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları	58
Şekil 5.3 Koni penetrasyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları	59

Şekil 5.4 Cıvalı yöntem ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin SL dağılımları	59
Şekil 5.5 Parafınli yöntem ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin SL dağılımları	64
Şekil 5.6 Ters ekstrüzyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin PL dağılımları	65
Şekil 5.7 Ters ekstrüzyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları	65
Şekil 5.8 Zemin sınıfı CH'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.....	70
Şekil 5.9 Zemin sınıfı ML'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.....	70
Şekil 5.10 Zemin sınıfı CL'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.....	71
Şekil 5.11 Zemin sınıfı CL'den ML'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.....	71
Şekil 5.12 Zemin sınıfı MH'den CH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Zeminlerin elle yuvarlama metodu ile elde edilmiş plastik limitleri	37
Çizelge 4.2 Zeminlerin Casagrande çarpmalı aletiyle ile elde edilmiş likit limitleri.....	40
Çizelge 4.3 Zeminlerin koni penetrasyon yöntemi ile elde edilmiş likit limitleri	41
Çizelge 4.4 Zeminlerin cıvalı yöntem ile elde edilmiş büzülme limitleri.....	43
Çizelge 4.5 Zeminlerin parafınli yöntem ile elde edilmiş büzülme limitleri	44
Çizelge 4.6 Ters ekstrüzyon yöntemi ile elde edilmiş plastik limit ve likit limitleri	45
Çizelge 4.7 Elle yuvarlama ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen plastik limitlerin karşılaştırılması	49
Çizelge 4.8 Casagrande aleti ile ve koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	50
Çizelge 4.9 Casagrande aleti ile ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	52
Çizelge 4.10 Koni penetrasyon ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması	53
Çizelge 4.11 Cıvalı yöntem ve parafınli yöntem ile elde edilen büzülme limitlerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 5.1 Tane boyuna bağlı olarak elle yuvarlama ile plastik limit deneyi sonuçları	56
Çizelge 5.2 Tane boyuna bağlı olarak Casagrande aleti ile likit limit deneyi sonuçları	57
Çizelge 5.3 Tane boyuna bağlı olarak koni penetrasyon yöntemi ile likit limit deneyi sonuçları	60
Çizelge 5.4 Tane boyuna bağlı olarak cıvalı yöntem ile büzülme limiti deneyi sonuçları	61
Çizelge 5.5 Tane boyuna bağlı olarak parafınli yöntem ile büzülme limiti deneyi sonuçları	62
Çizelge 5.6 Tane boyuna bağlı olarak ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik limit deneyi sonuçları	67
Çizelge 5.7 Tane boyuna bağlı olarak ters ekstrüzyon yöntemi ile likit limit deneyi sonuçları	68
Çizelge 5.8 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limiti değerleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları	69
Çizelge 5.9 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limiti değerleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları	74
Çizelge 5.10 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limiti değerleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları	75

1. GİRİŞ

Su içeriği ince taneli zeminlerin en önemli indeks özelliklerinden biridir. Terzaghi'nin "su olmayan gezegende zemin mekaniğine gerek olmazdı" sözü, suyun zeminler için ne kadar önemli olduğunu özetlemektedir. Zeminler su içeriklerine bağlı olarak, katı oldukları halden sıvı gibi davrandıkları durumlara kadar, çok geniş bir aralıktaki davranış gösterirler. Bu aralıktaki kritik su içeriklerinden üçü likit limit, plastik limit ve büzülme limiti olarak tanımlanmıştır. Kıvam limitleri veya Atterberg limitleri olarak adlandırılan bu kritik değerler, ince taneli zeminler için belirleyici mühendislik özelliklerinin başında gelir.

Zeminlerin kıvam limitlerine ilişkin ilk çalışmalar Atterberg tarafından 1900'lü yılların başında gerçekleştirilmiştir (Atterberg 1911). Terzaghi, Atterberg'in çalışmalarından yararlanarak zeminlerin mühendislik sınıflamalarını yapmıştır (Terzaghi 1924).

Likit limit, akıcı durumdaki zeminin plastik duruma dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Likit limit tayini için Casagrande (1932) kendi adıyla anılan deney aletini geliştirmiş ve bu alette yirmi beş vuruşa karşılık gelen su içeriğini likit limit olarak tanımlamıştır. Casagrande'nin geliştirdiği yöntemin çok fazla hesaplanamayan değişikliğe (operatör deneyimi, tasın düşürülme yüksekliği vb.) bağlı olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Johnston ve Strohm 1968, Wroth ve Wood 1978, Whyte 1982, Lee ve Freeman 2007). Casagrande yönteminin güvenilirliğini sorgulayan araştırmacılar, bu deneye alternatif olarak düşen koni yöntemini geliştirmişlerdir (Hansbo 1957, Sherwood ve Ryley 1968, Karlsson 1977).

Islak zeminin su içeriğini kaybederek yüzeyinde çatlakların oluşmaya başladığı, yani; plastik durumdan yarı katı duruma geçtiği andaki su içeriği plastik limittir. Terzaghi (1926) plastik limiti, zeminin elle yuvarlanması sırasında kırılmadan 3 mm'lik çapa indiği durumdaki su içeriği olarak tanımlamıştır. Terzaghi (1926)'nin önerdiği geleneksel elle yuvarlama ile plastik limit tayini deneyi, birçok belirsizlik içermesine rağmen (yuvarlanan zemine elle uygulanan basınç, el ve plaka arasındaki sürtünme

kuvveti, yuvarlama hızı vb.) (Whyte 1982) günümüzde en çok kullanılan plastik limit tayini deneyidir. Son yıllarda bazı gereçler geliştirilerek operatöre bağlı bu belirsizlikler azaltılmaya çalışılmıştır.

Zeminin su kaybetmesinin zeminin hacminde daha fazla hacim azalmasına neden olmadığı durumdaki su içeriği ise büzülme limiti olarak tanımlanmıştır. Büzülme limitinin belirlenmesi için kullanılan en yaygın iki yöntem cıvalı yöntem ve parafin yöntemidir.

Esas kullanım alanı metalurji dalı olan ekstrüzyon yöntemini zemin mekaniğinde ilk olarak Timar (1974) kullanmıştır. Fakat yöntem olarak düz ekstrüzyonu kullanması, itici pistonla zemin hücresi arasında oluşan sürtünme kuvvetleri sonuçların değerlendirilmesinde ona problemler yaşatmıştır. Ters ekstrüzyon yönteminin zemin indeks değerlerinin saptanmasında kullanılabileceğini ilk olarak Whyte (1982) önermiş; bu metoda dair araçlar ve detayları geliştirmiştir. Medhat ve Whyte (1986), Flixton kili üzerinde yaptıkları bir deney sonrasında ekstrüzyon basıncının drenajsız kesme dayanımına oranını (P_E/c_u) birinci derece denklem olarak veren bir eşitlik önermişlerdir.

Kayabalı ve Tüfenkçi (2008), yirmi adet zemin numunesi üzerinde yaptıkları Atterberg limitleri ve ters ekstrüzyon deneyleri sonucunda Atterberg limitlerinin bulunduğu iki deneye (PL ve LL) alternatif tek bir yöntem geliştirmiştir. İnce taneli zeminlerin plastik limitine karşılık olarak, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon düzeneğinde 2250 kPa değerini önermişlerdir. Likit limitine karşılık gelen ekstrüzyon basıncının ise 30 kPa olduğunu belirtmişlerdir.

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010a), 31 adet doğal numune üzerinde yaptıkları deneylerde plastik limit su muhtevastaki zeminlerin ekstrüzyon değerlerinin 2500 – 3000 kPa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Likit limitteki zeminlerin ekstrüzyon değerlerinin ise 30 – 40 kPa arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. İnce taneli zeminlerin plastik limit ve likit limit için ortalama 3000 kPa ve 35 kPa değerlerinin kullanılabileceğine değinmişlerdir.

İnce taneli zeminlerde, su içeriği arttıkça zeminin dayanımının düştüğü bilinmektedir. Buradan yola çıkarak, likit limit ve plastik limiti belirlemek için yapılan deneylerin drenajsız kesme dayanımlarını da vereceği düşünülebilir.

Casagrande 1939'un başlarında yaptığı çalışmayla zeminlerin likit limitleri ile kesme dayanımlarını ilişkilendirmiştir (Sharma ve Bora 2003). Casagrande aletiyle yaptığı birçok likit limit deneyi sonucunda yaptığı hesaplamalarla, zeminlerin likit limitteki kesme dayanımlarının ortalama olarak 2,65 kPa olduğunu belirlemiştir. Wroth ve Wood (1978) ile Sharma ve Bora (2003) yaptıkları çalışmalarda bu değer 0,5 – 4,0 kPa aralığında olduğu hesaplamışlardır. Çoğu araştırmacının çalışmaları incelendiğinde sıkıştırılmış zeminlerin likit limitteki drenajsız kesme dayanımlarının 1,6 – 1,7 kPa aralığında olduğu görülmüştür (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010b).

Literatürde zeminlerin plastik limitteki drenajsız kesme dayanımları ile ilgili yapılmış araştırmalar incelendiğinde, bu değer 20 – 320 kPa gibi çok geniş bir aralıkta değiştiği gözlenmektedir. Fakat bu araştırmaların sonucunda bu değer 110 – 170 kPa aralığında yoğunlaştığı görülmektedir (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010b).

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010b), 30 zemin numunesi üzerinde yaptıkları çalışma ile sıkıştırılmış zeminlerin drenajsız kesme dayanımlarını likit limitte 2,3 kPa, plastik limitte ise 180 kPa olarak hesaplamışlardır.

Likit limit, plastik limit ve büzülme limiti deneyleri hemen hemen istisnasız biçimde 40 numaralı elekten (delik çapı 425 µm) geçen malzemeler üzerinde yapılmaktadır (ASTM D 427–98 1998, ASTM D 4318-00 2000, BS 1377–2 1990, TS 1900-1 2006).

Tane boyu hakkında literatürde mevcut birçok sınıflandırma vardır. Wentworth (1922)'un yaptığı sınıflandırmada 0,25 – 0,5 mm aralığını orta taneli kum (medium sand) olarak sınıflandırmıştır. Aynı şekilde Atterberg de yaptığı sınıflamada 0,2 – 0,6 mm aralığını orta taneli kum (medium sand) olarak kabul etmiştir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (M.I.T.) sınıflandırmasında da Atterberg'in sınıflandırmasında

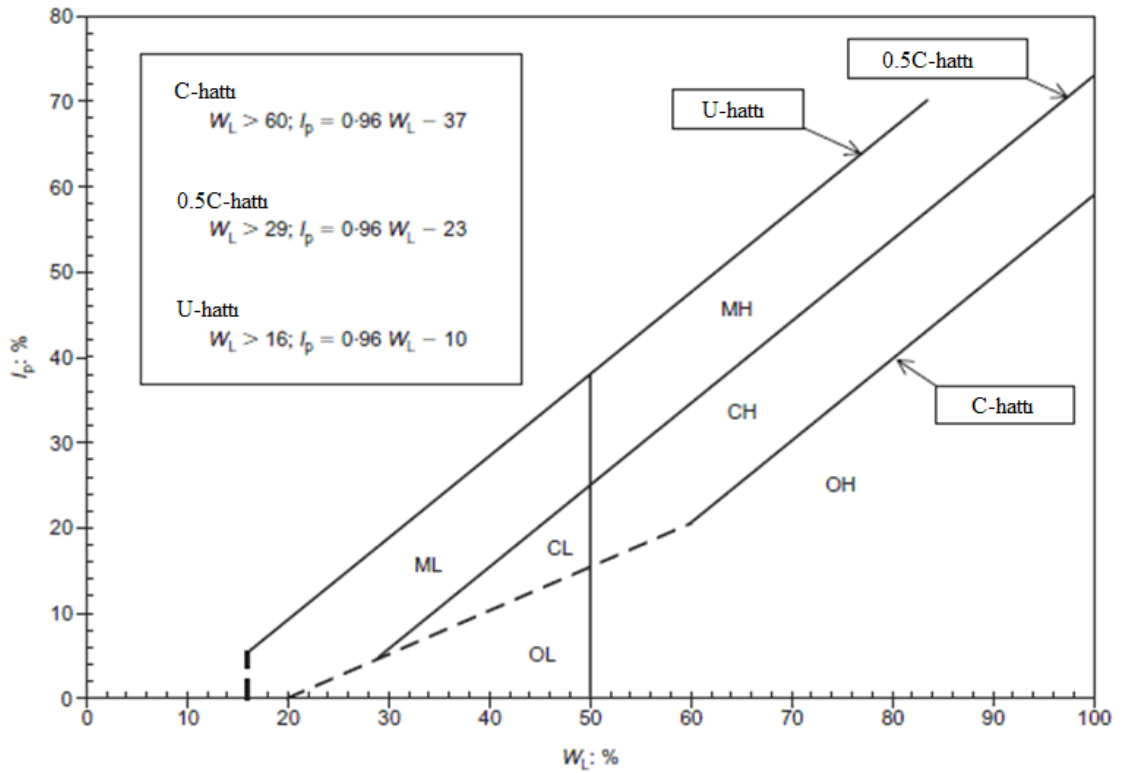
olduğu gibi 0,2 – 0,6 mm aralığını orta taneli kum (medium sand) olarak kabul etmektedir. Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma alışanları Birliği'nin (AASHTO) yaptığı zemin sınıflandırmasında 200 numaralı (75 µm) elek altına geçen malzeme oranının %35'ten fazla olduğu zeminler silt ve kil olarak tanımlanmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan sınıflandırma sistemi olan Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi'ne (USCS) göre ise 200 numaralı (75 µm) elek altına geçen malzeme oranının %50'den fazla olduğu zeminler ince taneli zeminler olarak sınıflandırılmaktadır (Holtz, Kovacs 1981). Bu sınıflandırmalar dikkate alındığında 40 numaralı (425 µm) elek altında kalan zeminlerin tamamını ince taneli zemin (yani sadece silt ve kil) olarak değerlendirmek bazı durumlarda mümkün gözükmemektedir.

Atterberg limitleri esasen ince taneli zeminlerin özelliği olmasına rağmen, deney malzemesi içinde kimi zaman yüksek oranlarda 200 numaralı (75 µm) elek üzerinde kalan malzeme bulunması çelişkili bir durum oluşturmaktadır. Tane boyu arttıka özgül yüzeyin kleeği bilinmektedir. Buna bağlı olarak tanelerin su tutma özelliği de önemli ölçüde azalacaktır.

Polidori (2003), killi-silisli kum karışımlarının indeks özellikleri üzerinde yapılmış önceki çalışmalardan (Seed vd. 1964, Tan vd. 1994, Kumar ve Wood 1999) ve saf kaolinit ve montmorillonit kil minerallerinin kıvam limitlerinden (Mesri ve Capeda-Diaz 1986) yola çıkarak yaptığı çalışmada Casagrande'nin önermiş olduğu plastisite diyagramından tamamen farklı, yeni bir plastisite diyagramı önermiştir (şekil 1.1). Bu yeni diyagramda göze çarpan en önemli zellik; Casagrande, A hattının altında kalan zeminleri silt, hattın üzerinde kalan zeminleri kil olarak sınıflandırırken, Polidori'nin kendi oluşturduğu 0,5 C hattında Casagrande'nin A hattıyla yaptığının tersini uygulamış olmasıdır: 0,5 C hattının altında kalan zeminleri kil, üzerinde kalanları ise silt olarak kabul etmiştir. Yaygın olarak kabul edilen yargının aksine inorganik zeminlerde – likit limitleri eşit olmak üzere – kil içeriği azaldıkça plastisite indeksinin artacağını savunmuştur.

Polidori (2003), Casagrande'nin plastisite diyagramında A hattının altında kalan silt boyutlu malzemeler yerine, A hattı üzerinde kalan kil boyutlu malzemeler üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Casagrande diyagramında sınıflamalar yapılırken; zeminlerin kil içeriği oranları dikkate alınmadan, sadece kıvam limiti deneyleri sonuçları göz önünde bulundurularak belirlendiği için, Casagrande diyagramında kil ve silt bölgelerinin doğru olmadığı tezini öne sürmüştür. Bu tespit ince taneli zeminlerin sınıflamasında ciddi bir problemin varlığını destekleyici niteliktedir.

Polidori'nin (2003) çalışması ile ilgili bir araştırma Gündüz ve Dağdeviren (2009) tarafından yapılmıştır. Gündüz ve Dağdeviren (2009), ince taneli zeminlere ait olan kıvam limitlerinin belirlenmesi sırasında ortamda yer alan ince kum tanelerinin miktar ve tane boyutu etkisinin olup olmadığını araştırmışlardır. Deney ortamında bulunan 75 μm – 425 μm arası kum tanelerinin, kil ve silt boyutundaki tanelerin kıvam limitlerini önemli ölçüde azaltabildiğini belirlemişlerdir.



Şekil 1.1 Yeni bir plastisite kartı (Polidori 2003)

Önalp (2009) tarafından Gündüz ve Dağdeviren'in (2009) çalışmasına yöneltilen tartışmada; kil oranının azalmasıyla plastisitede düşüşün kaçınılmaz olacağı görüşü savunulmuştur. Yazarlar ise, deneylerde kullanılan numunelerde yer alan kum içeriğinin, kil minerallerinin özelliklerini ölçmediği gibi bir söylem bulunmadığını, çalışmada vurgulanan noktanın ince taneli zeminlerin (kil ve silt) kıvam limitlerinin belirlenmesi için standartlar gereği alınan numuneler içerisinde yer alan kum miktarının değerlendirmeyi nasıl ve ne ölçüde etkileyeceği olduğunu belirtmişlerdir.

Balcı (2011), Casagrande diyagramının doğruluğunu sorguladığı çalışmasında 60 adet ince taneli zemin örneğinin USCS'ye göre zemin sınıflamasını yapmıştır. Daha sonra bu numuneler üzerinde hidrometre analizleri yaparak, tane boyu dağılım yüzdelerini elde etmiştir. Tane boyu dağılımı yüzdeleri ve Casagrande diyagramı aracılığıyla belirlenen USCS sınıflarını karşılaştıran Balcı (2011), numunelerin bir kısmının USCS'ye göre kil olmasına rağmen, hidrometre analizlerine göre kilden çok silt içerdiğini ortaya koymuştur.

Yukarıda belirtilen dayanaklardan yola çıkarak, kıvam limiti deneylerinde kullanılan malzemelerin tane boyunun değişimiyle özgül yüzeyin değişeceği; bunun kıvam limiti değerlerine etki edeceği, plastisite indeksinde büyük bir değişiklik olmasa da özellikle likit limit değiştiği için sınır durumu zemin sınıflarının kolaylıkla değişebileceği öngörüsü çalışmanın hipotezini teşkil etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, aynı zemine ait 40 numaralı (425 μm) elek altı ve 200 numaralı (75 μm) elek altı malzeme olmak üzere iki farklı tane boyuna sahip zemin üzerinde Atterberg limitleri ve ters ekstrüzyon deneyleri yaparak, elde edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapmak; Atterberg limitleri deneylerinde 40 numaralı elek altı malzeme kullanımının ince taneli zemin sınıflamasında sebep olacağı olası sorunları tartışmaya açmaktır.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Tez çalışmasında yapılacak deneyler için Ankara'nın batısı ve kuzeybatısında yer alan farklı lokasyonlardan Ankara kili olarak adlandırılan zeminler çuvalara doldurularak laboratuvara nakledilmiştir. Numunelerin alınma yerlerinin farklı bölgelerden seçilmesinin nedeni, alınan zemin gruplarının plastiklik derecelerinin dolayısıyla zemin sınıflarının çeşidini geniş tutmaktır. Bu sayede deney sonuçlarının daha geniş bir aralıkta sunulması amaçlanmıştır. Getirilen çuval numuneleri $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklık sağlayabilen etüvde sırayla tepsilere konularak en az 24 saat süresince kurutulmuştur.



Şekil 2.1 Zeminlerin öğütülmesinde kullanılan makine

Her zemin örneği şekil 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 40 numaralı ($425\ \mu\text{m}$) elekten diğer yarısı ise 200 numaralı ($75\ \mu\text{m}$) elekten elenmiş, elek altında kalan malzemeler deneylerde kullanılmak üzere alınmıştır. Toplamda 50 çift (50 adet 40 numaralı elek altı, 50 adet 200 numaralı elek altı) zemin numunesi elde edilmiştir. 100 adet zeminin her biri için 2-3 kg'lık numuneler hazırlanarak, deney yapmak üzere plastik torbalarda muhafaza edilmiştir. Öğütme makinesinin çalışma prensibi, alıcı ağızdan azar azar dökülen zeminin dakikada 1500 devirle dönen (1500 RPM) dört kanatlı bıçak ile temas

eder etmez silindirik hazne iç çeperine çarptıktan sonra dağılması ve altta delikli bir ızgaradan geçerek bir bidonda toplanması şeklindedir. Bıçağa çarptıktan sonra çepere fırlatılan bazı ince çakıl ve kum tanelerinde parçalanma meydana gelmiş olabilir. Çalışmada kullanılan malzemenin sınıflamasına dair ayrıntılar (ortalama tane çapı, uniformluk ve eğrisellik katsayıları) önemli olmadığından, bu durum çalışma sonucu açısından bir sorun teşkil etmemektedir.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışmada geleneksel kıvam limiti tayini deneyleri ile bunlara göre yeni bir yöntem olan ters ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Bu deneylerin uygulama prosedürleri, uygulamada en çok kullanılan standartlardaki şekliyle aşağıdaki başlıklarda anlatılmıştır.

3.1 Plastik Limit Tayini

3.1.1 Elle yuvarlama yöntemi ile plastik limit tayini (ASTM D 4318-00)

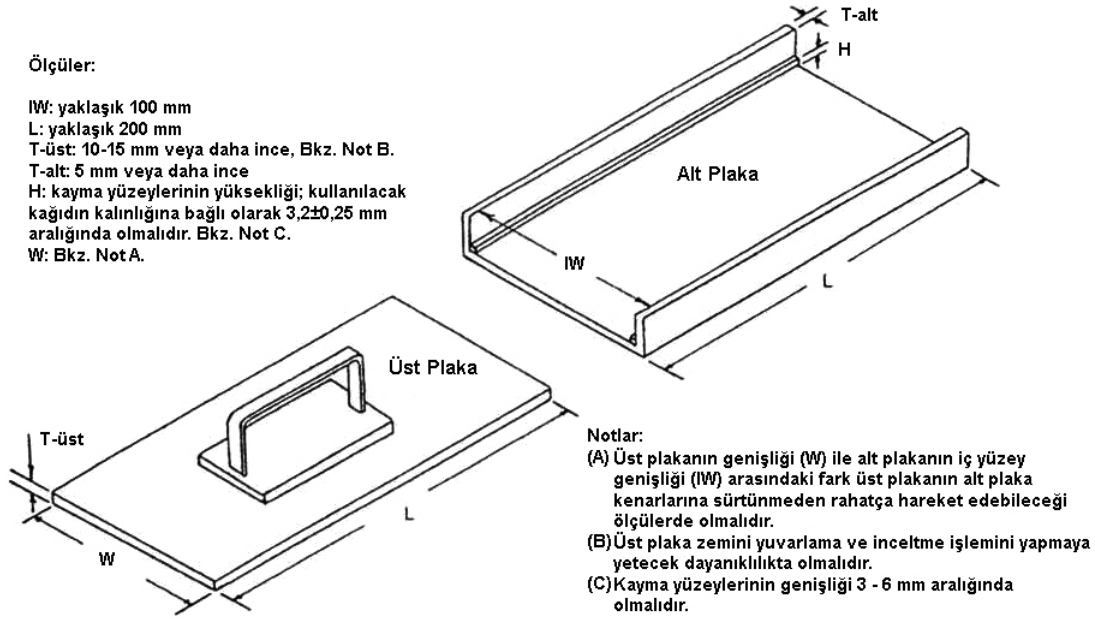
Gerekli araç – gereçler: Kalınlığı en az 1 cm ve bir kenarının uzunluğu en az 30 cm olan düzgün yüzeyli cam plaka, boyutları şekil 3.1’de verilmiş olan akrilikten yapılmış plastik limit yuvarlama aleti, 2 cm genişliğe ve 10–13 cm uzunluğunda bir spatula, standartlara uygun ölçülerdeki 10 numaralı ve 40 numaralı elekler, numuneye kontrollü olarak su eklemeye ve kaba tanelerden ince taneleri yıkamaya yarayacak bir su kabı veya piset, sürekli olarak $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen termostatlı bir etüv ve en az 7,6 cm derinliğinde ve üst çapı en az 20,3 olan yıkama kabı deney için gerekli ekipmanlardır.

Gerekli malzemeler: Damıtılmış veya minerallerinden arındırılmış su.

Numunenin deney için hazırlanması: Bu çalışmada kuru eleme yöntemi kullanıldığından sadece bu yöntem anlatılmıştır.

Araziden alınan zemin örneği oda sıcaklığında ya da sıcaklığı 60°C ’yi geçmeyecek şekilde etüvde kurularak zemin topraklarının dağılması sağlanır. Zeminin tamamen kurumadan ufalama aşamasına geçilmesi bu işlemi kolaylaştıracaktır.

Kurutulan zemin lastik bir tokmakla havanda dövülerek veya iri partiküllerin parçalanmasına neden olmayacak başka bir yöntemle ufalanır. Eğer bu işlem sırasında parçalanabilecek iri tanelere ya da kırılğan başka partiküllere rastlanırsa, bunlar elle veya başka uygun bir yöntemle uzaklaştırılır. Bu partiküllerin 40 numaralı elekten geçmesi için parçalanmaması gerekmektedir.



Şekil 3.1 Plastik limit yuvarlama aleti (ASTM D 4318-00'dan (2000) değiştirilerek alınmıştır)

Ufalama işleminden sonra malzeme 40 numaralı eleğe ufak miktarlarda dökülür ve elek elle sallanarak ince taneli partiküllerin elekten geçmesi sağlanır. Elek üzerinde kalan malzeme tekrar eleğe alınarak eleme işlemi tekrar edilir. İnce taneli partiküllerin çoğu elekten geçene kadar bu prosedüre devam edilir.

Son olarak elek üzerinde kalan malzeme yıkama kabına boşaltılır ve küçük bir miktar su ile ıslatılır. Bu malzeme bir süre karıştırıldıktan sonra 40 numaralı eleğe dökülür. Elek elle sallanarak iri tanelere yapışmış olan ince partiküllerin de elekten geçmesi sağlanır. Çalışmada 200 numaralı elek altı malzeme de kullanıldığı için, yukarıda anlatılan

işlemler, her bir zemin örneğinin diğer yarısı için 40 numaralı elek yerine 200 numaralı elek kullanılarak da gerçekleştirilmiştir.

Eleme işleminden geçirilen zemin üzerine su ilave edilerek likit limit kıvamına gelene kadar karıştırılır. Karıştırma işlemi zemin homojen bir görüntü alana kadar sürdürülür. Karıştırma süresi zeminin cinsine göre değişiklik göstermekle birlikte en az 10 dakikadır. Bu süre bazı killerde 30 dakikaya kadar çıkabilmektedir.

Elde edilen bu karışım, zeminin kürünü tamamlaması için en az 16 saat süreyle nemini kaybetmesini engelleyecek bir desikatörde bekletilir.

Deneyin yapılışı: Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan karışımdan 20 gram alınır. Zeminin su içeriği havalandırarak ya da cam plaka üzerinde veya karıştırma kabında karıştırılarak düşürülür. Bu işlem numunenin elde yuvarlanması sırasında ele yapışmadığı duruma gelene kadar devam ettirilir. Kurutma işlemini hızlandırmak için elektrikli fan veya kurutma kağıdı da kullanılabilir. Hazırlanmış malzemeden 1,5–2,0 g kadar alınarak elde elips şekli verilir.

Plastik limit yuvarlama aletinin üst ve alt yüzeylerine düzgün yüzeyli sırlanmamış özel kağıtlar yerleştirilir. Bu kağıtlar yuvarlama işlemi sırasında zemine hiçbir yabancı partikülün geçmesine olanak sağlamayacak şekilde olmalıdır. Elle şekillendirilmiş zemin örneği alt plakada kayma kenarlarının ortasına gelecek şekilde yerleştirilir. Üst plaka zemin kütesine temas edecek şekilde tutulur. Aynı anda aşağı doğru hafifçe kuvvet uygulanarak, üst plaka ileri ve geri hareket ettirilir. Üst plaka kayma kenarlarına temas edinceye kadar bu harekete devam edilir. Yaklaşık 2 dakika içerisinde bu temasın gerçekleşmesi beklenir. Yuvarlama işlemi sırasında zemin çubuğunun kayma kenarlarına değmemesine dikkat edilmeli, gerekirse daha az numune alınarak deney yeniden başlatılmalıdır.

Zemin çubuğunun çapı 3,2 mm'ye geldiğinde (bu sırada üst plaka kayma kenarlarına temas eder) çubuk elle parçalara ayrılarak yoğrulur ve elips şekli verilerek yuvarlama

işlemine devam edilir. Zemin 3,2 mm çapa inene kadar yuvarlama, parçalama ve birleştirme, yoğurma ve tekrar yuvarlama işlemlerine, zeminin yuvarlama için uygulanan kuvvet altında daha fazla yuvarlanamadığı ve parçalara ayrılmaya başladığı duruma kadar devam edilir. Zemin çubuğu 3,2 mm çapa ulaşmadan birkaç parçaya ayrılrsa da yuvarlamaya bu küçük parçalarla sürdürülür. Deneyin devam ettirilebilmesi için gereken tek şey, parçalanmış zeminin tekrar birleştirilerek elle elips şeklini alabilme ve yuvarlanma yeteneğini kaybetmemiş olmasıdır. Eğer önceki yuvarlamalar sırasında zemin 3,2 mm çapa kadar inmişse, 3,2 mm'den daha büyük bir çapta parçalanıp deneyin sonlanması da kabul edilebilir bir durumdur. Burada operatörün dikkat etmesi gereken durum, parçalanmanın 3,2 mm'lik çapta meydana gelmesi için; yuvarlama hızını yavaşlatma, uyguladığı kuvveti azaltma veya çoğaltma gibi davranışlarda bulunmamaktır. Deneyin başlangıcından sonuna kadar uygulanan kuvvet, yuvarlama hızı sabit tutulmalıdır.

Parçalanmış zemin çubukları birleştirilerek nemini kaybetmeyecek şekilde bir kaba konur. Deneylere bu kabın içine konan zeminin toplam kütlesi yaklaşık 6 g oluncaya kadar devam edilir. Bu aşamalar başka bir kap 6 g numune ile dolduruluncaya kadar bir kere daha tekrarlanır.

Elde edilen her iki kaptaki zemin örneklerinin su içerikleri ölçülür ve iki su içeriğinin aritmetik ortalaması alınarak "Plastik Limit" hesaplanmış olur. Eğer iki değer arasındaki fark kabul edilebilir değerlerin dışında kalırsa deneyin tekrarlanması gerekir (ASTM D 4318-00 2000).

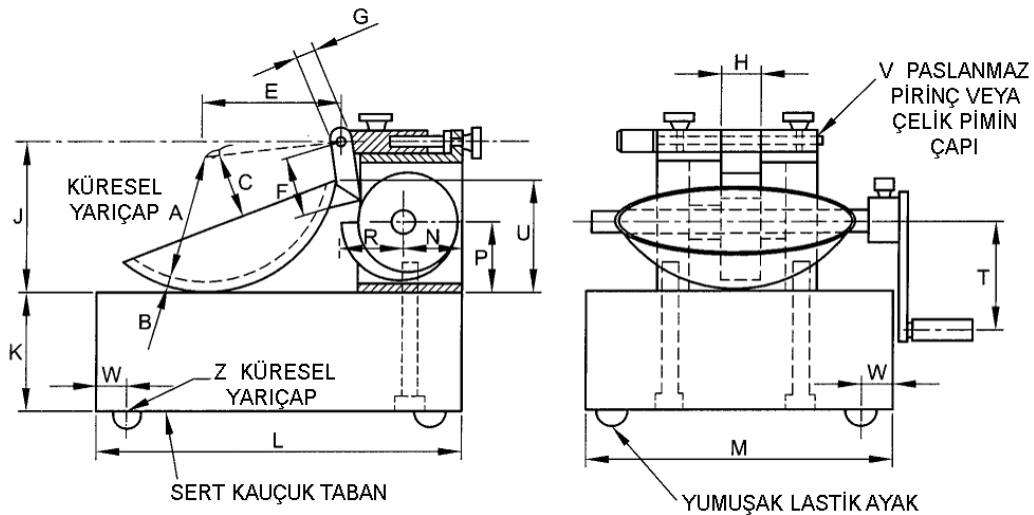
3.2 Likit Limit Tayini

3.2.1 Casagrande aleti ile likit limit tayini (ASTM D 4318-00)

Gerekli araç – gereçler: Casagrande aleti pirinçten yapılmış bir tasın, düşürme kolu yardımıyla plastik sert bir temele düşürülmesi prensibi ile çalışan mekanik bir alettir. Bu alete ilişkin detaylar şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu aletin elle kullanılan modelleri

bulduğu gibi, elektrik motoru ile çalışan modelleri de vardır. Motor, çarpmalı aletin düşürme kolunu saniyede $2\pm 0,1$ 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 3.3’de teknik çizimi verilen paslanmaz metalden ya da plastikten yapılmış bir oluk açma bıçağı görülmektedir. Bu alete ait tasarımsal boyutlar belirtilen aralıklarda değişebilir. Eğer gerek duyulursa, oluk açma bıçağı aletin düşürme yüksekliğinin ayarlanması için de kullanılabilir. Şekil 3.4’te ölçüleri verilen metal ölçme bloğu ile ölçümler alınırken temelin düz olmasına, hareketli parçaların oynamamasına, ölçüm yüzeylerinin tümüyle düz tutulmasına dikkat edilmelidir.



Harf Gösterimi	A *	B *	C *	E *	F	G	H	J *	K *	L *
Ölçü (mm)	$54\pm 0,5$	$2\pm 0,1$	$27\pm 0,5$	$56\pm 2,0$	32	10	16	$60\pm 1,0$	$50\pm 2,0$	$150\pm 2,0$
Harf Gösterimi	M *	N	P	R	T	U *	V	W	Z	
Ölçü (mm)	$125\pm 2,0$	24	28	24	45	$47\pm 1,0$	3,8	13	6,5	

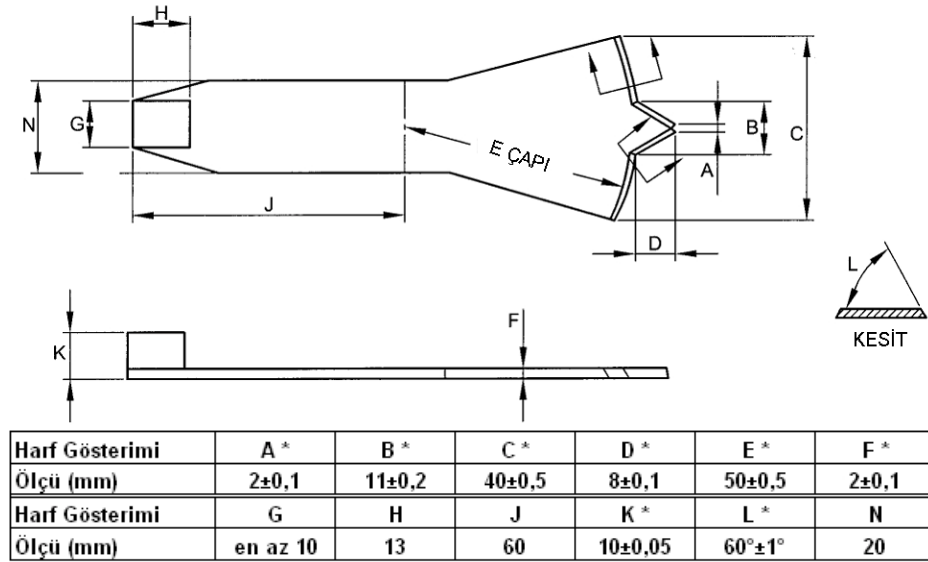
Şekil 3.2 Casagrande likit limit aleti (ASTM D 4318-00’dan (2000) değiştirilerek alınmıştır) (* ile gösterilenler olması zorunlu olan değerlerdir)

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, ölçümler için 0,01 gr hassasiyetinde bir terazi, zemin numunesini suyla karıştırabilmek için ve karıştırılan numuneyi içinde saklayabilmek için gerekli zemin saklama ve

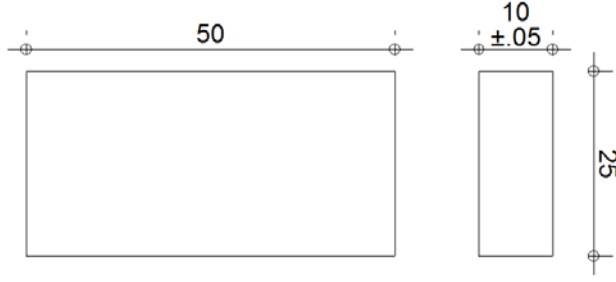
karıştırma kapları, 2 cm genişliğe ve 10–13 cm uzunluğunda bir spatula, standartlara uygun ölçülerdeki 10 numaralı ve 40 numaralı elekler, numuneye kontrollü olarak su eklemeye ve kaba tanelerden ince taneleri yıkamaya yarayacak bir su kabı veya piset, sürekli olarak $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen termostatlı bir etüv deney için gerekli diğer ekipmanlardır.

Gerekli malzemeler: Damıtılmış veya minerallerinden arındırılmış su.

Casagrande aletinin 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 ucu ucuna geçebileceği biçimde ayarlanmalıdır (Şekil 3.5). Ayrıca, deney aletine ait tüm parçaların yıpranma miktarlarının standartta verilmiş olan ölçüler içerisinde olduğu kontrol edilmelidir.



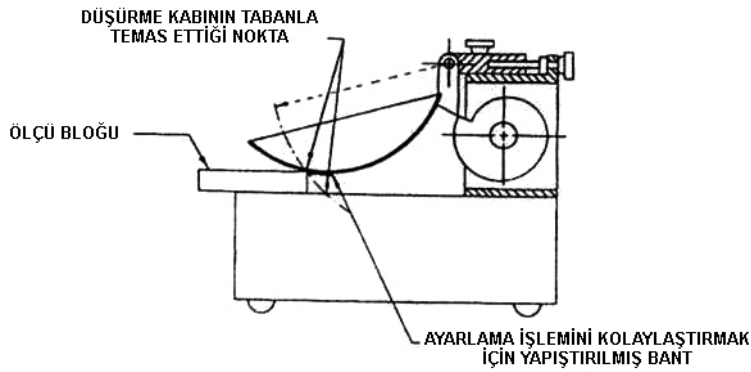
Şekil 3.3 Oluk açma bıçağı (ASTM D 4318-00'dan (2000) değiştirilerek alınmıştır)
(* ile gösterilenler olması zorunlu olan değerlerdir)



Şekil 3.4 Ölçü bloğu (ASTM D 4318-00'dan (2000) değiştirilerek alınmıştır) (Ölçüler mm'dir.)

Numunenin deney için hazırlanması: Plastik limit deneyinde anlatıldığı gibidir.

Deneyin yapılışı: Desikatörde kürünü alması sağlanan numune çıkarılarak karıştırma kabında iyice karıştırılır. Eğer gerekli görülürse biraz su eklenerek karışım yaklaşık olarak likit limit kıvamına getirilir. Casagrande aletinin taşı sert plastik tabana oturtularak, spatula yardımıyla hazırlanmış olan karışımdan bir miktar alınır ve tasın içerisine yerleştirilir. Bu yerleştirme sırasında numunenin içinde hava kabarcıkları oluşmamasına dikkat edilir. Tas içine yerleştirilen numunenin yüzeyi yatay olacak şekilde düzeltilir. Tas içine yerleştirilen numunenin en derin kısmı yaklaşık 10 mm olmalıdır.



Şekil 3.5 Casagrande aletinin kalibrasyonu (ASTM D 4318-00'dan (2000) değiştirilerek alınmıştır)

Tas içerisine yerleştirilen numunenin ortasında oluk açma bıçağı kullanılarak bir yarık açılır. Bu yarık açılırken azami özen gösterilmeli ve yarığın düzgün olması

sağlanmalıdır. Bu işlem oldukça çabuk yapılmalı ve karışımın nemini kaybetmesine müsaade edilmemelidir.

Tasın altında ve plastik tabanın üzerinde herhangi bir cisim olmamasına dikkat edilmelidir. Çevirme kolu yardımıyla tas saniyede 2 düşüş yapacak şekilde çevrilir. Bu sırada numunenin ortasında açılmış olan yarığın tabanındaki kapanma dikkatle izlenmeli ve kapanmanın yarık boyunca 13 mm uzunluğa ulaştığı durumda düşürme işlemi sonlandırılmalıdır.

Kapanma sonunda yarığın iki tarafının şekillerinin simetrik olmasına dikkat edilmelidir. Eğer bir farklılık gözleniyorsa, bu hava kabarcığı oluşumunu gösterebilir ve deneyin tekrar edilmesi gerekir. Eğer numune deney sırasında tas yüzeyinde kayıyorsa, su içeriği artırılarak deney tekrarlanmalıdır. Su içeriği artırılmasına rağmen numune tas yüzeyinde kaymaya devam ediyorsa veya yarığın kapanması için gerekli vuruş sayısı her seferinde 25'ten küçük oluyorsa, likit limiti belirlemek mümkün değildir ve zemin non-plastik olarak sınıflandırılır.

Yarığın kapanması için gerekli düşüş sayısı (N) kaydedilir. Spatula yardımıyla su içeriğinin belirlenmesi için kapanmanın gerçekleştiği bölgeden bir miktar numune alınır. Bu işlemlerden sonra tas iyice temizlenerek bir sonraki deney için hazırlanır.

Bekleyen numuneye bir miktar su ilave edilerek iyice karıştırılır. Yukarıda anlatılan aşamalar uygulanarak deney en az iki kez daha tekrarlanır. Bu üç deneyde düşüş sayılarının birinde 25–35 arasında, diğerinde 20–30 ve sonuncusunun ise 15–25 arasında olmasına gayret edilmelidir.

Her deneme sonucunda su içerikleri (W^n) belirlenmelidir. Bu su içerikleri ve düşüş sayıları yarı logaritmik grafiğe; düşey ekseninde su içeriği (W^n) aritmetik ölçekte, yatay ekseninde ise düşüş sayısı (N) logaritmik ölçekte olacak şekilde aktarılmalıdır. Belirlenen bu üç veya daha fazla noktayı temsil edecek olan doğru çizilir. Bu doğru aracılığıyla 25

düşüş sayısına denk gelen su içeriği belirlenir ve bu değer likit limit olarak tanımlanır (ASTM D 4318-00 2000).

3.2.2 Koni penetrasyon yöntemi ile plastik limit tayini (BS 1377 – 2)

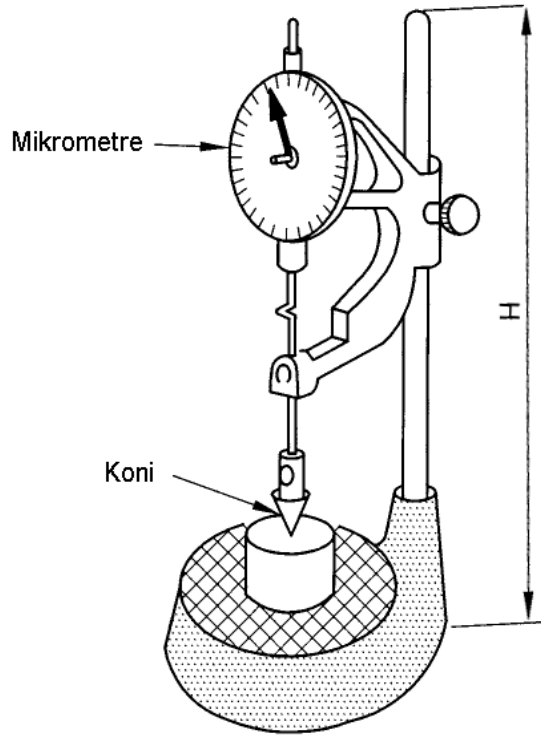
Bu yöntem zeminlerin doğal durumlarındaki likit limitlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği gibi, 40 numaralı elekte elenmiş numuneler içinde uygulanabilir (BS 1377–2 British Standards Institution 1990).

Gerekli araç – gereçler: Görünümü şekil 3.6’da verilen, bitümlü malzemelerin testinde kullanılan BS 2000-49 standardına uygun olan penetrometre; paslanmaz çelikten yapılmış, 35 mm boylu, yüzeyi cilalı, tepe açısı $30\pm 1^\circ$ olan koni (Şekil 3.7.a); düz tabanlı 55 ± 2 mm çaplı ve 40 ± 2 mm derinlikte metal kap; en az 150 mm çapında porselen pota; damıtık suyla dolu yıkama şişesi (piset); zeminin deney kabına yerleştirilmesinden sonra yüzeyini tesviyelemek amacıyla kullanılacak çelik cetvel bulundurulmalıdır.

Koni ucunun kontrol edilmesi: Deneye başlamadan önce koninin ucu elle kontrol ederek yeterli sivriliğe sahip olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer koni ucu sivriliğini kaybetmişse, penetrasyon değeri doğru olarak saptanamayacaktır. Bu işlem için $1,75\pm 0,1$ mm kalınlığında dairesel şekilli ve ortasında $1,5\pm 0,02$ mm çapında bir deliğe sahip olan bir metal plaka kullanılır. Koninin ucu plakadaki bu delikten geçirilir ve parmakla dokunularak batıp batmadığı kontrol edilir. Eğer koninin ucu bu delikten diğer tarafa çıkmıyorsa ya da ele batmayacak kadar düzleşmişse, koni değiştirilmeden deneylere başlanmamalıdır (Şekil 3.7.b).

Gerekli malzemeler: Damıtılmış veya minerallerinden arındırılmış su.

Numunenin deney için hazırlanması: Plastik limit deneyinde anlatıldığı gibidir.

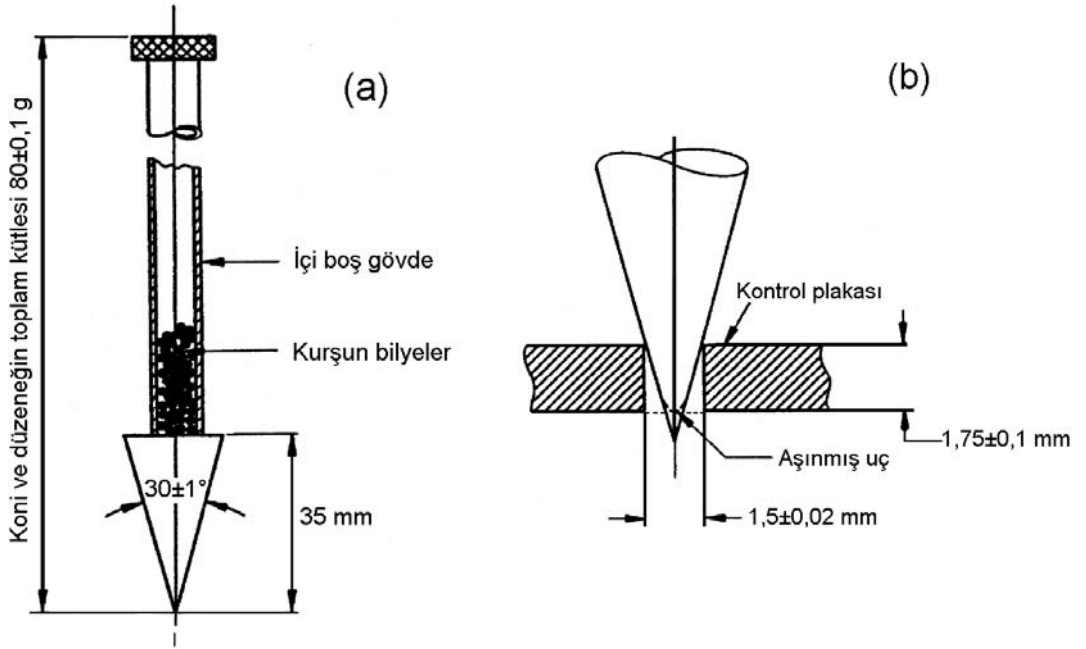


Şekil 3.6 Koni penetrasyon aleti

Deneyin yapılışı: Desikatörde bekletilmiş numuneden 300 g kadar alınarak en az 10 dakika boyunca spatula yardımıyla karıştırılır. İlk deneyde 15 mm'lik koni penetrasyonu elde edilecek kıvama getirilene dek karışıma su ilave edilir veya karışım havalandırılarak nemini kaybetmesi sağlanır. Numuneden bir miktar alınarak metal deney kabı sıkıca doldurulur. Bu işlem sırasında hava kabarcığı oluşumunu engellemeye özen gösterilmelidir. Kaba konan numunenin yüzeyi çelik cetvelle düzgün bir yüzey oluşturacak şekilde düzeltilir. Kap penetrometre tabanına yerleştirilir. Koninin ucu zemin yüzeyine hafifçe dokunacak ve zemin yüzeyinde belli belirsiz bir çizik oluşturulacak şekilde indirilir. Bu durumda ilk mikrometre okuması alınır. Koni 5 ± 1 saniye süreyle serbest bırakılarak numuneye batması sağlanır. Bu süre sonunda koninin zemin içine battığı mesafe yani son mikrometre okuması yapılır. Son okuma ile ilk okuma arasındaki fark koni penetrasyon değerini verir. Koni zeminden çıkarılarak temizlenir. Metal kaba biraz daha karışım eklenir, yüzeyi düzeltilir ve yukarıdaki işlemler tekrarlanarak ikinci koni penetrasyon değeri elde edilir. İlk değer ile ikinci değer arasındaki fark 0,5 mm'den fazla değilse, bu iki değerın ortalaması koni

penetrasyon değeri olarak alınır. Eğer fark 0,5 mm ile 1,0 mm arasında ise üçüncü bir deney yapılır. Bu üçüncü deney sonucunda fark 1,0 mm'den az ise bu üç deneyin sonuçlarının ortalaması alınır. Son ihtimal ise ilk iki değer arasındaki farkın 1,0 mm'den fazla olması durumudur. Bu durumda kaptaki karışım boşaltılarak karıştırılır ve deneyler tekrarlanır. Sonuçlar yukarıda anlatılan üç durum dahilinde tekrar değerlendirilir ve koni penetrasyonu belirlenir. Koninin battığı bölgeden yaklaşık 10 g numune alınarak su muhtevası hesaplanır.

Bu işlemler her defasında su içeriği arttırılarak en az üç kere daha tekrar edilir. Su içeriklerinin koni penetrasyonlarının yaklaşık 15–20 mm aralığında olacak şekilde ayarlanması faydalı olacaktır.



Şekil 3.7.a. Koni ve düşürme düzeneği, b. koni ucunun kontrolü (BS 1377-2'den (1990) değiştirilerek alınmıştır.)

Her deneye başlamadan önce numune kaptan çıkarılmalı ve metal kap iyice temizlenerek kurulmalıdır. Su muhtevaları ölçülerek, su içeriği – koni penetrasyon grafiği oluşturulur. Bu grafik; su içeriği yatay ekseninde, koni penetrasyon değeri düşey ekseninde olacak şekilde oluşturulur ve bu dört veya daha fazla noktadan geçecek en

uygun doğru çizilir. Bu doğru vasıtasıyla 20 mm'lik koni penetrasyonunda karşılık gelen su içeriği okunur. Bu değer zeminin likit limitini verir (BS 1377-2 1990).

3.3 Büzülme (Rötire) Limiti Tayini

3.3.1 Cıvalı yöntem (Hacimsel büzülme) ile büzülme limiti tayini (ASTM D 427-98)

Gerekli araç – gereçler: Yaklaşık 140 mm çapında porselen kap, 76 mm uzunluğunda ve 19,0 mm genişliğinde bir spatula, porselenden yapılmış düz bir tabana sahip yaklaşık 44 mm çap ve 12 mm derinliğe sahip rötire kapları, 150 mm uzunluğunda çelik cetvel, 57 mm çaplı ve 31 mm derinlikli bir cam kap, boyutları şekil 3.8'de verilmiş olan cam plaka, 0,1 g hassasiyetinde bir terazi, cıva, $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen bir etüv deney için gerekli ekipmanlardır.

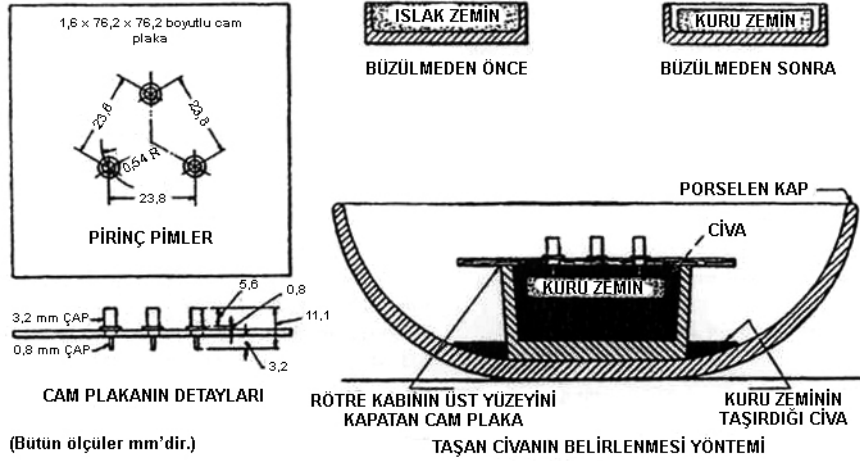
Gerekli malzemeler: Damıtılmış veya minerallerinden arındırılmış su.

Numunenin deney için hazırlanması: Plastik limit deneyinde anlatıldığı gibidir.

Deneyin yapılışı: Desikatörde bekletilen karışım porselen kaba alınarak iyice karıştırılır. Deneyde likit limit kıvamındaki zemin kullanılacağından, eğer gerekli görülürse, karışıma bir miktar su eklenebilir. Arzu edilen durum mümkün olduğunca likit limitine yakın bir su içeriğinde (olabildiğince düşük) karışımın hazırlanmasıdır. Çünkü özellikle plastik zeminlerde su içeriği arttıkça kuruma sürecinde çatlama ve kırılma özelliği de artmaktadır.

Rötire kabının iç yüzeyi numunenin yapışmasını önlemek amacıyla vazelin veya kalın bir yağ ile sıvanır. Boş kabın kütlesi ölçülerek not edilir (M_T , g).

Rötre kabı cıva ile doldurulur ve cam plaka yardımıyla kabın üzerine bastırılarak fazla cıvanın dışarı taşması sağlanır. Cıva ile plaka arasında havanın sıkışmamasına dikkat edilmelidir. Dereceli kap yardımıyla veya cıvanın kütesinin ölçülmesiyle (cıvanın yoğunluğu ağırlığı $13,55 \text{ g/cm}^3$ 'tür) rötre kabı içerisindeki dolayısıyla kabın içine konacak ıslak numunenin hacmi belirlenir (V, cm^3).



Şekil 3.8 Büzülme limitinde kullanılan cam plaka ve taşan cıvanın belirlenmesi (ASTM D 427-98'den (1998) değiştirilerek alınmıştır)

Hazırlanan karışımdan kabın yaklaşık üçte biri kadar alınarak kabın ortasına konur; kap sallanarak ve hafifçe vurularak numunenin hava kabarcığı oluşmadan kaba iyice yayılması sağlanır. Bu adımlar izlenerek kap numune ile tamamen doldurulur ve üzeri çelik cetvelle düzeltilir. Zeminin kurummasına müsaade edilmeden, ıslak numunenin ve kabın kütlesi ölçülerek kaydedilir (M_w, g).

Hazırlanan numune açık havada rengi koyudan açığa dönene kadar kurumaya bırakılır. Daha sonra $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde tamamen kurutulur. Eğer numune çatlak veya parçalanırsa, karışım daha düşük su içeriğinde yeniden hazırlanır ve yukarıdaki işlemler yinelenir. Kuru zemin ve kabın kütlesi ölçülerek kaydedilir (M_D, g).

Cam kap ağzına kadar cıva ile doldurulur ve cam plaka yardımıyla fazla cıva taşırılır. Cıva ile plaka arasında havanın sıkışmamasına dikkat edilmelidir. Cam kap porselen

kabın içine yerleştirilir. Daha sonra kuru zemin rötre kabından çıkarılarak cıva ile dolu olan cam kabın üzerine yerleştirilir. Cam plaka vasıtasıyla kabın üzerine hafifçe bastırılarak fazla cıvanın taşırılması sağlanır. Bu işlem sırasında cam plaka ile cıva arasında hava sıkışmamasına dikkat edilmelidir. Porselen kaba taşan cıvanın hacmi ölçülü kap yardımıyla veya kütesinin ölçülmesiyle hesaplanır. Bu hacim aynı zamanda kuru zeminde hacmidir (V_o , cm^3).

Hesaplamalar:

Islak zeminin kütesi:

$$M = M_W - M_T$$

Kuru zeminin kütesi:

$$M_o = M_D - M_T$$

Su içeriği:

$$w = \left[\frac{(M - M_o)}{M_o} \right] \times 100$$

Büzülme limiti (SL) şu şekilde hesaplanır:

$$SL = w - \left[\frac{(V - V_o)\rho_w}{M_o} \right] \times 100$$

Burada ρ_w suyun yaklaşık yoğunluğudur: $1,0 \text{ g/cm}^3$.

(ASTM D 427–98 1998).

3.3.2 Parafinli yöntem ile büzülme limiti tayini (ASTM D 4943–02)

Gerekli araç – gereçler: En az 500 g tartabilen ve 0,01 g hassasiyetinde tartı, porselen veya metalden yapılmış düz tabanlı 40 – 45 mm çapa ve 12 – 15 mm derinliğe sahip rötre kabı, $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen bir etüv, metal veya porselenden yapılmış 125 – 150 mm çaplı havan ve lastik tokmak, 20 mm genişlik ve 100 mm uzunlukta bir spatula, çelik cetvel, standartlara uygun 40 numaralı elek, mikrokristalin parafin, zemin

numunesini parafin içinde batırmada kullanılacak; yeterli incelik ve sağlamlığa sahip ip, damıtık su, zemin numunesinin içinde yüzdürülmesine yetecek büyüklükte bir kap, aşırı ısınmayı önleyecek özellikte ısıtıcı (parafinin eritilmesi için kullanılacak), 0 – 50°C aralığında ve 0,5°C hassasiyetinde ölçüm yapabilen termometre (opsiyonel), rötne kabının kalibrasyonunda kullanılmak üzere 80 x 80 mm ebatlı 5 mm kalınlıkta cam veya plastik plaka ve petrol bazlı kayganlaştırıcı, ASTM D 4318 standardına uygun Casagrande likit limit cihazı ve oluk açma bıçağı deney için gerekli araç ve gereçlerdir.

Kalibrasyon: Rötne kabı ve cam plaka hafif bir şekilde kayganlaştırıcı ile sıvanır. Cam plakanın su sızdırmazlığının sağlanacağı şekilde yağlanmasına dikkat edilmelidir. Yağlanan rötne kabı ve cam plaka tartılarak kütleleri belirlenir.

Yağlanmış rötne kabı taşana kadar su ile doldurulur. Cam plaka rötne kabı üzerine kapatılarak fazla suyun taşırılması sağlanır. Bu işlem sırasında içeride hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilir. Kabin ve plakanın dış yüzeyleri dikkatlice kurulanır. Yağlanmış kabin, plakanın ve kap içindeki suyun kütleleri birlikte tartılır ve kaydedilir. Böylece suyun kütlesi ve rötne kabının hacmi hesaplanır.

Rötne kabı ve cam plaka iyice temizlenerek yukarıdaki işlemler tekrar edilir. İki deney sonucunda bulunan hacimler arasındaki fark 0,03 cm³'ten fazla ise, aradaki fark 0,03 cm³ veya daha az olana kadar bu işlemlere devam edilir. İstenen fark elde edildikten sonra iki denemede bulunan hacimlerin ortalaması alınarak kaydedilir.

Kalibrasyon sırasında yapılacak hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Rötne kabındaki suyun kütlesi:

$$m = m_1 - m_2$$

Burada;

m = rötne kabındaki suyun kütlesi (g),

m_1 = yağlanmış rötne kabı ve cam plaka ile kap içindeki suyun kütlesi (g),

m_2 = yağlanmış rötne kabı ve cam plakanın kütlesidir (g).

Rötre kabının hacmi:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Burada;

V = rötre kabının hacmi (cm^3),

ρ = suyun yoğunluğudur ($=1,000 \text{ g / cm}^3$).

Bunun yanında mikrokristalin parafinin yoğunluğunun üreticiden öğrenilmesi veya ASTM D 2726 (ASTM D 4943-02 2002) standardında belirtildiği şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca deney sırasında laboratuvar sıcaklığı ve deney araç – gereçlerinin sıcaklıklarının aynı olmasına özen gösterilmelidir.

Numunenin deney için hazırlanması: Plastik limit deneyinde anlatıldığı gibidir.

Deneyin yapılışı: Likit limit kıvamındaki zemin su karışımından bir miktar alınır. Karışım, likit limit aletinde 10 düşüşte yarığın 13 mm.lik uzunluk boyunca kapanmasını sağlayacak kıvama getirilir. Bu yaklaşık olarak likit limitinden %10 daha fazla su içeriğine karşılık gelir.

Bir rötre kabı alınarak numaralandırılır ve kalibrasyon sırasında belirlenmiş hacmi kaydedilir. Bu hacim aynı zamanda ıslak zemin numunesinin hacmi olacaktır. Rötre kabı hafifçe yağlanır. Kütlesi ölçülerek boş rötre kabının kütlesi olarak kaydedilir.

Karışımından rötre kabının hacminin yaklaşık üçte biri alınarak, kabın ortasına konur. Kap sallanarak ve kaba hafifçe vurularak, numunenin kaba yayılması sağlanır. Bu işlem tekrar edilerek, her seferinde yaklaşık eşit miktarda karışım konarak kap doldurulur ve üzeri çelik cetvelle düzeltilir. Doldurma işlemi sırasında kaba kabarcığı oluşmamasına dikkat edilmelidir. Dolu kabın kütlesi ölçülerek, rötre kabı ve ıslak numunenin kütlesi olarak kaydedilir. Numunenin rengi koyulaşmaya kadar numune kurumaya bırakılır. Kurumaya bırakılan numune, $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüve konularak tamamen kurutulur ve rötre kabı ile kuru numunenin kütlesi tartılarak kaydedilir.

Numunenin havada kurumaya bırakılması işlemi sırasında eğer numune çatlarsa, numunenin kurumaya bırakılması işlemi nemin kontrol edilebildiği bir ortamda yapılmalıdır. Bu durumda numunenin renginin koyulaşması 1 veya 2 hafta kadar sürebilir.

Kuru numune dikkatlice kaptan çıkarılır ve ip ile çevresi sarılarak sıkıca bağlanır. İpten tutularak kuru numune eritilmiş sıcak parafin içine, numune tamamen parafinle kaplanana kadar batırılır. Eğer hava kabarcıkları oluşursa, bunlar sivri uçlu bir cisimle patlatılır ve oluşturdukları boşlukların tekrar parafinle dolması sağlanır. Numune sıcak parafinin içinden çıkarılır ve numuneyi kaplayan parafinin soğuması için bekletilir. Parafinle kaplanmış kuru numune tartılır. Bu değer parafinle kaplanmış kuru numunenin havadaki kütlelerini verir. Daha sonra parafinle kaplanmış kuru numune su dolu kabın içinde batırılır. Parafinle kaplı numunenin su içinde dengeli bir şekilde kalana kadar beklenir. Bu esnada numune ve ip etrafında hava kabarcığı oluşmamasına dikkat edilir. Bu şekilde parafinle kaplanmış kuru numunenin sudaki kütlesi tespit edilir.

Hesaplamalar:

Kuru zeminin kütlesi:

$$m_s = m_d - m$$

Burada;

m_s = kuru zeminin kütlesi (g),

m_d = kuru zemin numunesi ve rötre kabının kütlesi (g),

m = rötre kabının kütlesidir (g).

Numunenin rötre kabına yerleştirildiği andaki su içeriği (%):

$$w = \left[\frac{(m_w - m_d)}{m_s} \right] \times 100$$

Burada;

w = numunenin rötre kabına yerleştirildiği andaki su içeriği (%),

m_w = ıslak zemin ve kabın kütlesidir (g).

Kuru zemin ve parafinin hacmi:

$$V_{dx} = \frac{(m_{sxa} - m_{sxa})}{\rho_w}$$

Burada;

V_{dx} = kuru zemin ve parafinin hacmi (cm^3),

m_{sxa} = kuru zemin ve parafinin havadaki kütlesi (g),

m_{sxw} = kuru zemin ve parafinin sudaki kütlesi (g),

ρ_w = suyun yoğunluğudur ($=1,000 \text{ g / cm}^3$).

Parafinin kütlesi:

$$m_x = m_{sxa} - m_s$$

Burada;

m_x = parafinin kütlesidir (g).

Parafinin hacmi:

$$V_x = \frac{m_x}{G_x \rho_w} \text{ ya da } \frac{m_x}{\rho_x}$$

Burada;

V_x = parafinin hacmi (cm^3),

G_x = parafinin özgül ağırlığı,

ρ_x = parafinin yoğunluğudur (g/cm^3).

Kuru zeminin hacmi:

$$V_d = V_{dx} - V_x$$

Burada;

V_d = kuru zemin numunesinin hacmidir (cm^3).

Bütün bu hesaplamalardan sonra büzülme limiti aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanır:

$$SL = w - \left[\frac{(V - V_d) \rho_w}{m_s} \right] \times 100$$

Burada;

SL = büzülme limiti,

V = ıslak zemin numunesinin hacmidir (yani rötre kabının hacmidir) (cm^3).

(ASTM D 4943–02 2002).

3.4 Ters Ekstrüzyon Yöntemi

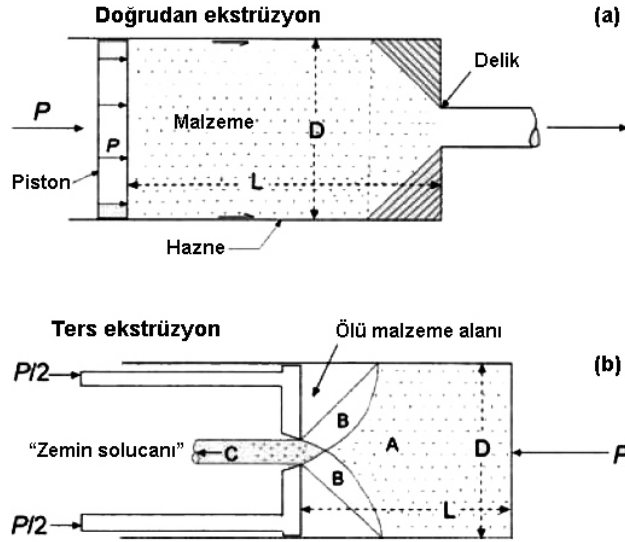
Ekstrüzyon, bir metal, plastik veya zemin (özellikle tuğla imalatında) bloğunun yüksek basınç altında zorlanarak daha dar bir delikten geçirilmesi ile istenilen kesitin elde edilmesinde kullanılan mekanik bir süreçtir (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010a).

Doğrudan ekstrüzyon ve ters ekstrüzyon olmak üzere iki çeşit ekstrüzyon vardır. Doğrudan ekstrüzyonda bir ucu açık diğer ucunda ise bir delik bulunan bir hazne kullanılır. Bu haznenin içine yerleştirilen malzeme, haznenin ucu açık olan tarafından bir piston aracılığıyla sıkıştırılarak, kabın diğer ucundaki delikten deliğin şeklini alarak çıkması sağlanır (Şekil 3.9.a). Ters ekstrüzyonda ise malzeme bir ucu bir plaka ile kapatılmış, diğer ucu açık olan bir hazne içine yerleştirilerek, ortasında delik olan bir pistonla sıkıştırılır. Sıkıştırılan malzeme pistondaki delikten, deliğin şeklini almış olarak dışarı çıkar (Şekil 3.9.b). Ters ekstrüzyonda hazne çeperi ile malzeme arasında izafi bir hareket yoktur. Bu nedenle, sürtünme kuvvetleri ters ekstrüzyonda doğrudan ekstrüzyona göre daha azdır. Bunun sonucunda ekstrüzyonu gerçekleştirmek için gerekli kuvvet ters ekstrüzyonda daha düşüktür (Dieter 1988).

Hazne içine rijit biçimde yerleştirilen malzeme (A), B zonuna eriştiğinde deforme olarak piston deliğinden çıkar (C). Bu durumda malzemeye uygulanan gerilme sünme limiti düzeyinde olup delikten çıkan bu malzemeye daha fazla gerilme uygulanamaz (Şekil 3.9.b), (Whyte 1982).

Şekil 3.10'da doğrudan ekstrüzyon ve ters ekstrüzyon yöntemlerine ait ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 3.10.a'da görüldüğü gibi doğrudan ekstrüzyonda zemin sıkıştıkça ekstrüzyon basıncı hızlı bir şekilde yükselir ve maksimum basınca ulaşıldığında zemin delikten çıkmaya başlar (zemin solucanı oluşur). Zemin solucanının oluşumundan sonra gerekli ekstrüzyon basıncı hazne içindeki numunenin boyunun (L) kısalmasına bağlı olarak azalacak, bu azalma hazne içindeki numune boyunun (L) hazne çapına (D) oranı yaklaşık 0,7 değerine geldiğinde ise son bulacaktır. Bu durumdan sonra ekstrüzyon basıncı tekrar yükselmeye başlar.

Ters ekstrüzyonda ise hazne ile malzeme arasında izafi bir hareket olmadığından, pistonun ilerlemesi sırasında ekstrüzyon basıncı yaklaşık olarak sabit kalır ve delikten çıkan malzemeyi deforme etmek için gerekli gerilmeyi temsil eder (Şekil 3.10.b), (Dieter 1988).



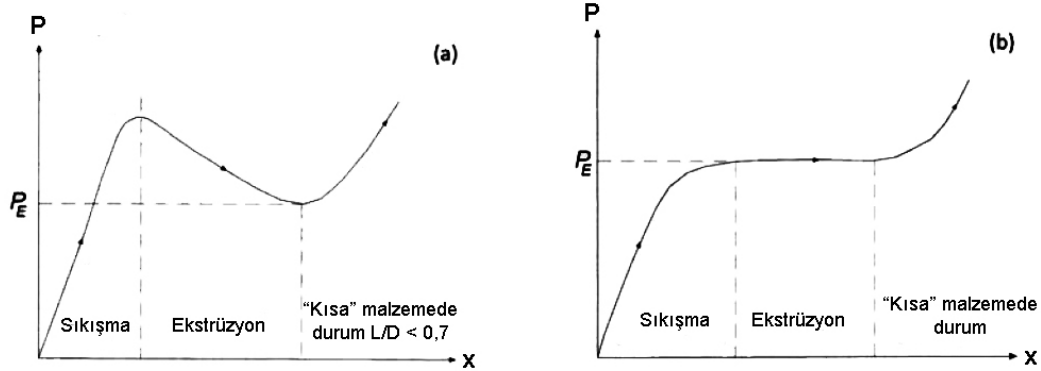
Şekil 3.9.a. Doğrudan ekstrüzyon, b. ters ekstrüzyonun şematik gösterimi (Whyte'dan (1982) değiştirilerek alınmıştır.)

D: haznenin kesit alanı, L: numunenin boyu.

Ekstrüzyon yöntemini zemin mekaniğinde ilk olarak Timar (1974) kullanmıştır. Fakat yöntem olarak doğrudan ekstrüzyon yöntemini kullanması, itici pistonla zemin haznesi arasında oluşan sürtünme kuvvetleri, sonuçların değerlendirilmesinde ona problemler yaşatmıştır (Timar 1974).

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 deliğe sahip pistonla oluşan düzeneklerden yararlanarak, ters ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Deneylerin sonuçlarını bir yarı logaritmik grafiğe aktarmışlar ve her bir zemin numunesi için

ekstrüzyon basıncıyla su muhtevalarının arasında lineer bir ilişki olduğunu gözlemişlerdir. Geleneksel metotlarla elde edilen kıvam limitleri deneylerinden alınan sonuçlarla karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmışlar ve ince taneli zeminlerin plastik limiti için 2250 kPa değerini ve likit limiti için ise 30 kPa değerini önermişlerdir (Kayabalı ve Tüfenkçi 2008).



Şekil 3.10.a. Doğrudan ekstrüzyonda, b. ters ekstrüzyonda ekstrüzyon basıncı ile piston hareketi arasındaki ilişki (Whyte'dan (1982) değiştirilerek alınmıştır)

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010a) yaptıkları diğer seri deneylerde otuz bir adet zemin numunesini aynı yöntemle değerlendirmişler ve zeminlerin plastik limiti için 2000 – 3000 kPa değer aralığını (ekstrüzyon gerilmesi) ve likit limiti için ise 30 – 40 kPa değer aralığını vermişlerdir. İnce taneli zeminlerin plastik limit ve likit limitleri için ortalama 3000 kPa ve 35 kPa değerlerinin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010a). Önerilen yöntemin son derece basit, güvenilir, tekrar edilebilir, ekonomik olduğunu savunmuş ve geleneksel yöntemlerin belirsizliklerini ortadan kaldırdığını vurgulamışlardır.

Kayabalı ve Tüfenkçi (2010b) yaptıkları bir başka çalışmada deneye tabi tuttıkları ince taneli zemin numunelerinin likit limitteki ve plastik limitteki drenajsız kayma dayanımları için ortalama 2,3 kPa ve 180 kPa değerlerini saptamışlardır (Kayabalı ve Tüfenkçi 2010b).

Gerekli araç - gereçler: 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 bir pres (Şekil 3.11) olmalıdır. Bu düzeneğin yükleme hızına bağlı değişen kuvvet değerlerinin izlenebilmesine olanak sağlayan bir göstergesinin mutlaka bulunması gerekmektedir. Yükleme hücresinin yük kapasitesinin 10 kN ve üzeri değerlerde olması deneylerin daha düşük su muhtevalarında yapılabilmelerini sağlayacaktır. Deney aletinin yükleme hızının değiştirilebilir olması deneylerde kolaylıklar sağlayacağı gibi zamanın kısıtlı olduğu durumlarda da avantaj sağlayabilir. Ekstrüzyon deneyi için tek eksenli basınç deneyi aleti önerildiği gibi, üç eksenli basınç deneyi aleti de ufak değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Zeminin deney anında içinde bulunacağı 38 mm çaplı ekstrüzyon haznesi (Şekil 3.11), paslanmaz çelikten ya da benzer dayanımda, paslanmaz, yüzey pürüzlülüğü düşük metalden yapılmış olmalıdır. Ekstrüzyon haznesine ait teknik detaylar Şekil 3.12’de verilmiştir. Ekstrüzyon hücresinin makineye bağlanabilmesi için bir ara aparat olan ve paslanmaz çelikten ya da benzer dayanımda metalden yapılmış bağlantı aparatı bulunmalıdır.

Ekstrüzyon haznesine yerleştirilmiş zemini makinenin sağlayacağı itme kuvvetiyle, üzerinde bulunan 6 mm çapındaki delikten çıkmaya zorlayacak şekilde tasarlanmış ekstrüzyon pistonunun (Şekil 3.11) teknik detayları Şekil 3.12’de verilmiştir. Hazne çapı ve delik çapının bu şekilde seçilmiş olmasında Whyte (1982) ile Kayabalı ve Tüfenkçi’nin (2010a) kullandıkları kesit oranı ($R=40$) etkili olmuştur. Ayrıca, ölçümler için 0,01 gr hassasiyetinde bir terazi, zemin numunesini suyla karıştırabilmek için ve karıştırılan numuneyi içinde saklayabilmek için gerekli zemin saklama ve karıştırma kapları, 2 cm genişliğe ve 10–13 cm uzunluğunda bir spatula, numuneye kontrollü olarak su eklemeye yarayacak bir su kabı veya piset, sürekli olarak 110 ± 5 °C sıcaklık sağlayabilen termostatlı bir etüv, kronometre ve deney öncesinde haznenin ve pistonun yağlanmasında kullanılacak vazelin veya benzeri kayganlaştırıcılar deney için gerekli diğer ekipmanlardır.



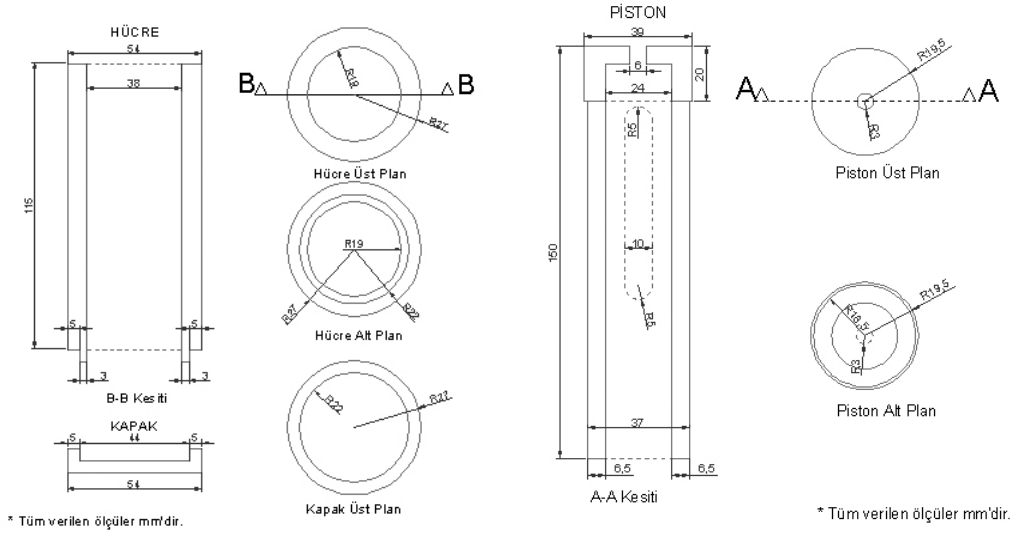
Şekil 3.11 Ters ekstrüzyon deneyinde kullanılan tek eksenli basınç aleti (solda) ile deneyde kullanılan hazne ve piston (sağda)

Numunenin deney için hazırlanması: Plastik limit deneyinde anlatıldığı gibidir.

Deneyin yapılışı: Desikatörde bekletilerek kürünü alması sağlanan karışım deney öncesinde karıştırma kabına alınarak spatula ile iyice karıştırılır. Deneyde yapılacak tekrarlarda, hazırlanan karışımların plastik limitten likit limite doğru değişen su muhtevalarında hazırlanmasına özen gösterilmelidir. Bu değerlerin yakalanabilmesi için karışım havalandırılarak su muhtevası azaltılır veya su eklenip karıştırılarak su içeriği arttırılır.

Deneyde kullanılacak haznenin temiz olmasına dikkat edilmelidir. Sürtünmelerin azaltılmasını ve deney sonrasında numunenin haznedden kolayca çıkabilmesini sağlamak amacıyla hazne vazelin veya başka kayganlaştırıcı bir madde ile hafifçe yağlanır. Haznenin bir yüzeyini kapatan plaka, numunenin deney sonrasında kolayca çıkarılabilmesini sağlamak amacıyla haznedden ayrılabilir şekilde yapılmıştır. Bu plakada yağlanarak haznenin bir yüzeyi kapatılır. İstenilen su içeriğinde hazırlanmış

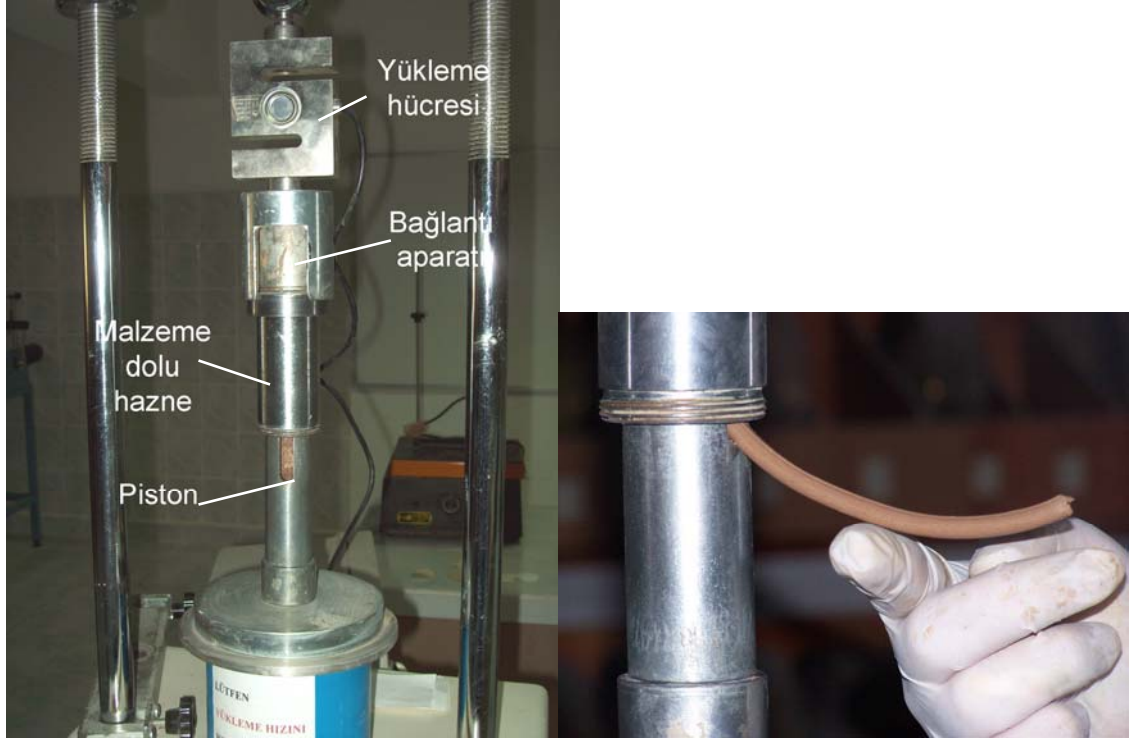
olan zemin + su karışımından bir miktar alınarak hazne içine konur. Başparmakla bastırılarak ve sıkıştırma pistonu ile hafifçe vurularak zemin iyice sıkıştırılır. Bu şekilde malzeme tabakalar halinde hazne içine yerleştirilir. Hazne içine doldurulan zeminin yüksekliğinin hazne çapının en az iki katı olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.12 Ters ekstrüzyon deneyinde kullanılan hücre (solda) ve pistonun (sağda) teknik resimleri

Zemin numunesi ile doldurulmuş hazne ve piston Şekil 3.13'te gösterildiği gibi ekstrüzyon makinesine yerleştirilir. Zemin üzerindeki basınç sıfırlanana kadar makine ileri alınır ve deney için hazır hale getirilir. Bu aşamada piston, hazne ve yükleme hücresine bağlanan aparatın düşey olmasına dikkat edilmelidir. Eğer herhangi bir eğrilik göze çarparsa önce bu düzeltilmeli, deneye daha sonra başlanmalıdır.

Makinenin yükleme hızı 3 mm/dk değerine ayarlanır ve deney başlatılır. Deneyin başlama anından itibaren 10 saniyede bir ekstrüzyon makinesinin göstergesi aracılığıyla okunan ekstrüzyon kuvvetleri kaydedilir. Zemin numunesi, ekstrüzyon basıncına ulaşıldığı anda delikten çıkarak zemin solucanını oluşturur (Şekil 3.13). Zemin solucanı gözlem olduğundan gözlendikten sonra 2-3 okuma daha alınır ve deney sonlandırılır.

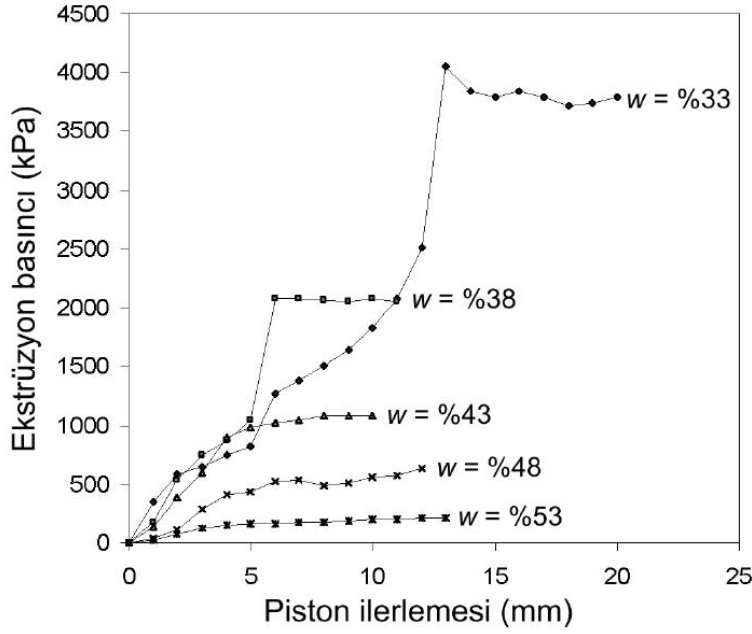


Şekil 3.13 Haznenin ve pistonun ters ekstrüzyon makinesine yerleştirilmesi (solda) ve zemin solucanının gözlem oluşturma çıkışı (sağda)

Ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon kuvvetinin hazne kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Deney sırasında yapılan okumaları (ekstrüzyon kuvvetleri) haznenin kesit alanına bölünür ve ekstrüzyon basınçları hesaplanır. Deney sonunda zemin numunesi haznedan çıkarılır ve su içeriği tespit edilir.

Bulunan ekstrüzyon basınçları ve piston hareketi değerleri; düşey ekseninde ekstrüzyon basıncı, yatay ekseninde piston hareketi olacak şekilde grafiklere aktarılır. Çizilen eğrinin yaklaşık olarak yatay olan kısmı, o numunenin ekstrüzyon basıncına karşılık gelmektedir.

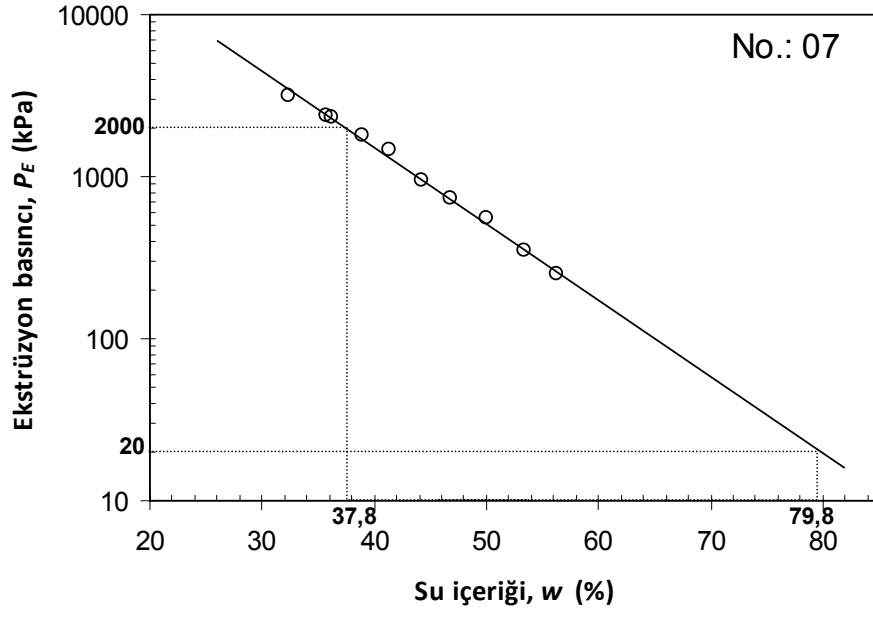
Hazne ve piston iyice temizlenir. Yukarıdaki işlemler farklı su içeriklerinde 4 – 6 kere daha tekrarlanır ve farklı su içeriklerindeki ekstrüzyon basınçları belirlenir. Şekil 3.14'te 15 numaralı numunenin farklı su içeriklerine karşılık gelen ekstrüzyon basıncı – piston hareketi grafiği görülmektedir.



Şekil 3.14 15 numaralı numunenin farklı su içeriklerinde ölçülen ekstrüzyon basınçları

Elde edilen veriler, yarı logaritmik bir grafiğe; dikey eksene logaritmik ölçekte ekstrüzyon basıncı, yatay eksene aritmetik ölçekte su içeriği olacak şekilde yerleştirilir. Grafikte belirlenen noktalara en uygun doğrusal zarf çizilir. İdeal olarak, ekstrüzyon basıncı – su içeriği ilişkisini temsil eden her bir noktanın aynı doğrusal çizgi üzerine düşmesi beklenir. Bu doğrusal çizgiden sapmaların, deney sırasında zemin artı su karışımının hazne ile piston arasında istenmeyen sıkışmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda uygulanması gerekli ekstrüzyon kuvveti (ve dolayısıyla basıncı) artmakta; aynı su içeriğine ait ekstrüzyon basıncı daha yüksek çıkmakta ve bu şekilde ekstrüzyon basıncı – su içeriği noktası dikey yönde yukarı doğru kaymaktadır (Kayabalı ve Tüfenkçi 2008).

Çalışmada likit limit ve plastik limitin belirlenmesi için; plastik limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncı 2000 kPa, likit limite karşılık gelen ekstrüzyon basıncı ise 20 kPa olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.15'te 07 numunesinin likit limit ve plastik limitlerinin belirlenişi gösterilmiştir.



Şekil 3.15 07 numaralı numunenin ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik ve likit limitlerinin belirlenmesi

4. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde, yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak elde edilen deney sonuçları verilmiştir. Çalışma kapsamında düşen koni ile likit limit tayini ve ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik limit ve likit limit tayini deneyleri gerçekleştirilmiş, diğer deneylere ait veriler Prof. Dr. Kamil KAYABALI liderliğinde yürütülen geniş kapsamlı bir araştırmanın verileri olarak, Sn. KAYABALI'nın izni alınarak bu çalışmada kullanılmıştır.

Elli çift zemin numunesine 01'den 100'e kadar numaralar verilmiştir. 01-50 arasındaki numuneler 40 no.lu elek altında kalan zemin örnekleri, 51-100 arasındakiler ise bu zeminlerin 200 no.lu elek altında kalan örnekleridir. Karşılaştırmanın doğru yapılabilmesi için zeminlerin 40 no.lu elek altında kalan örneklerinin sıralaması 200 no.lu elek altında kalan örneklerinde de aynı şekilde yapılmıştır. Örneğin; 01 numaralı numune ile 51 numaralı numune aynı zemine ait olup 01 numara 40 no.lu elek altında kalanı, 51 numara ise 200 no.lu elek altında kalan örneği göstermektedir.

4.1 Plastik Limit

4.1.1 Elle yuvarlama yöntemi ile plastik limit tayini sonuçları

Deneyler, Ankara Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Elle yuvarlama yöntemi ile plastik limit tayini deneyleri ASTM D 4318-00 (2000) standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Zeminlerin elle yuvarlama metodu ile elde edilmiş plastik limitleri (*)

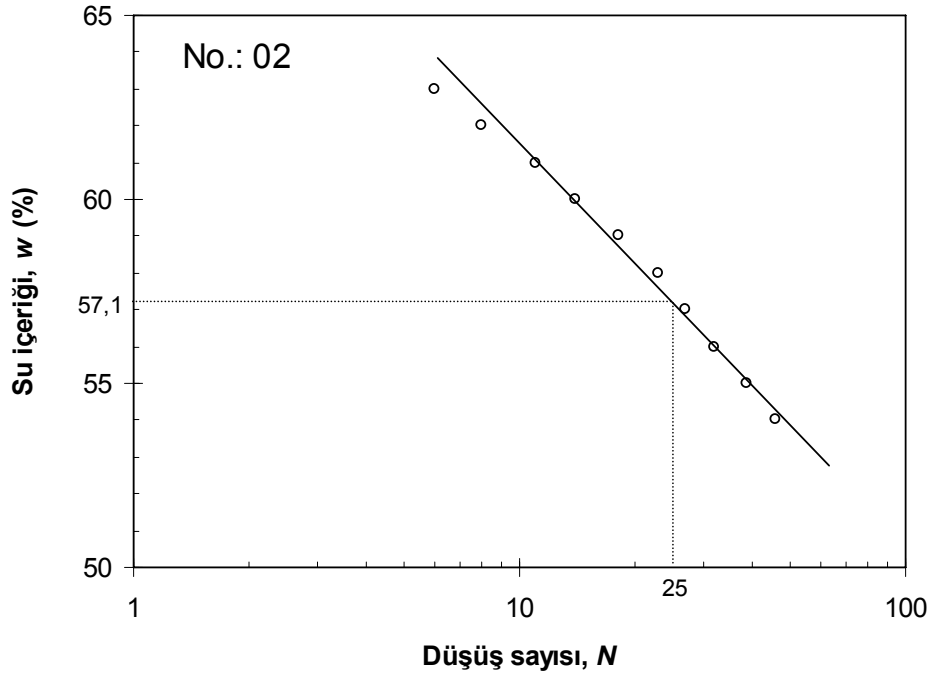
Zemin No.	PL	Zemin No.	PL
01	29,3	51	35,6
02	24,4	52	31,6
03	30,0	53	35,8
04	25,6	54	31,5
05	32,9	55	36,5
06	31,8	56	38,6
07	33,9	57	35,2
08	29,6	58	35,7
09	33,3	59	35,3
10	33,1	60	35,0
11	29,8	61	39,0
12	24,3	62	26,5
13	26,6	63	34,0
14	40,3	64	41,4
15	39,1	65	40,2
16	41,3	66	40,5
17	29,9	67	35,0
18	33,4	68	36,3
19	30,5	69	30,8
20	25,0	70	27,3
21	24,8	71	30,1
22	29,9	72	30,2
23	28,8	73	31,2
24	26,2	74	33,7
25	27,2	75	27,6
26	28,6	76	33,3
27	29,6	77	32,0
28	25,3	78	30,5
29	33,8	79	40,0
30	25,4	80	27,8
31	30,9	81	34,0
32	24,2	82	29,4
33	29,2	83	30,2
34	21,9	84	25,2
35	29,2	85	27,8
36	25,5	86	28,1
37	26,5	87	29,1
38	31,2	88	35,9
39	24,0	89	29,9
40	25,0	90	31,3
41	37,1	91	43,8
42	27,3	92	30,8
43	37,0	93	36,6
44	25,0	94	32,0
45	29,8	95	30,7
46	26,1	96	32,3
47	28,5	97	30,5
48	30,1	98	33,2
49	30,3	99	35,3
50	24,2	100	30,3

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil KAYABALI'nın izniyle kullanılmıştır.

4.2 Likit Limit

4.2.1 Casagrande aleti ile likit limit tayini sonuçları

Önceki bölümde anlatılan standartta belirtildiği şekilde, 50 çift zemin numunesi üzerinde, her biri için en az on farklı noktada olmak üzere deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen düşüş sayıları ve su içerikleri şekil 4.1’de gösterildiği gibi düşüş sayısı yatay ekseninde, su içeriği düşey ekseninde olacak şekilde grafiğe aktarılmış ve bu noktalara en uygun doğru çizilmiştir. ASTM D 4318-00 (2000) standardına uygun olarak gerçekleştirilen bu deneylere ait sonuçlar çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1 02 numaralı numunenin Casagrande aleti ile likit limitinin belirlenmesi

4.2.2 Koni penetrasyon yöntemi ile likit limit tayini sonuçları

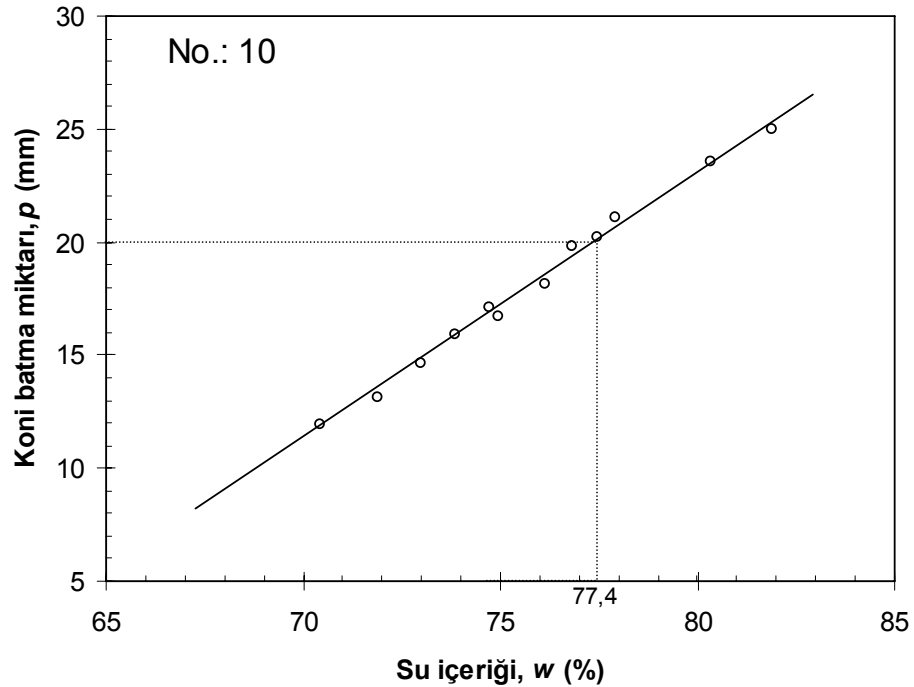
Deneyler, Ankara Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında BS 1377-2 (1990) standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için en az on farklı su muhtevasında deneyler yapılmıştır. Koni batma miktarının 10 – 25 mm aralığında

dağılmasına özen gösterilmiştir. Elde edilen koni batma miktarları ve su içerikleri şekil 4.2’de gösterildiği gibi batma miktarı düşey ekseninde, su içeriği yatay ekseninde olacak şekilde grafiğe aktarılmış ve bu noktalara en uygun doğru çizilmiştir. Deney standardında da belirtildiği üzere bu doğru vasıtasıyla koninin 20 mm. batmasına karşılık gelen su muhtevası likit limiti vermektedir. Bu şekilde bütün numuneler için belirlenmiş likit limitler çizelge 4.3’te sunulmuştur.

4.3 Büzülme (Rötire) Limiti

4.3.1 Cıvalı yöntem (Hacimsel büzülme) ile büzülme limiti tayini sonuçları

Cıvalı yöntem ile büzülme limiti tayini deneyleri ASTM D 427-98 (1998) standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.2 10 numaralı numunenin koni penetrasyon yöntemi ile likit limitinin belirlenmesi

Çizelge 4.2 Zeminlerin Casagrande çarpmalı aleti ile elde edilmiş likit limitleri (*)

Zemin No.	LL	Zemin No.	LL
1	66,3	51	75,5
2	57,1	52	66,7
3	62,0	53	70,8
4	54,5	54	63,7
5	69,8	55	78,6
6	71,4	56	78,1
7	79,0	57	90,3
8	57,8	58	71,1
9	73,9	59	77,6
10	75,0	60	83,9
11	49,3	61	59,4
12	57,4	62	81,0
13	69,2	63	87,2
14	71,0	64	84,5
15	66,3	65	72,2
16	60,6	66	64,3
17	57,0	67	65,0
18	53,7	68	55,1
19	52,6	69	58,9
20	53,1	70	64,3
21	50,3	71	61,5
22	61,0	72	64,9
23	56,3	73	71,4
24	42,9	74	55,6
25	65,2	75	67,8
26	48,5	76	53,8
27	74,4	77	75,9
28	57,4	78	65,0
29	65,2	79	67,9
30	53,3	80	55,9
31	54,6	81	61,5
32	58,5	82	70,2
33	69,0	83	71,8
34	54,6	84	51,9
35	57,4	85	62,2
36	47,8	86	46,4
37	77,1	87	78,4
38	68,2	88	61,4
39	62,7	89	62,8
40	47,7	90	54,4
41	67,3	91	70,2
42	68,6	92	68,0
43	57,9	93	64,1
44	55,3	94	61,9
45	54,0	95	65,1
46	49,8	96	52,6
47	57,4	97	60,7
48	54,6	98	60,2
49	59,5	99	62,2
50	55,9	100	61,7

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil KAYABALI'nın izniyle kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Zeminlerin koni penetrasyon yöntemi ile elde edilmiş likit limitleri

Zemin No.	LL	Zemin No.	LL
1	68,0	51	77,1
2	59,6	52	69,2
3	62,5	53	73,3
4	59,5	54	65,9
5	74,9	55	80,3
6	74,2	56	80,3
7	81,3	57	91,1
8	60,8	58	73,0
9	77,8	59	79,1
10	77,4	60	85,0
11	53,0	61	62,3
12	61,0	62	82,8
13	71,9	63	88,4
14	72,9	64	87,3
15	68,3	65	75,3
16	63,1	66	66,8
17	59,3	67	67,2
18	56,1	68	57,8
19	54,8	69	61,1
20	54,8	70	66,8
21	51,7	71	64,0
22	63,0	72	66,5
23	62,8	73	73,9
24	45,8	74	58,3
25	68,5	75	69,8
26	50,7	76	57,7
27	77,0	77	79,0
28	60,8	78	67,2
29	67,9	79	69,7
30	55,4	80	58,7
31	57,4	81	64,1
32	61,3	82	72,4
33	71,3	83	74,3
34	56,6	84	53,9
35	59,7	85	64,9
36	50,2	86	51,8
37	79,5	87	80,7
38	70,5	88	63,6
39	65,5	89	64,7
40	50,5	90	56,8
41	69,6	91	72,3
42	71,3	92	69,8
43	60,0	93	65,8
44	57,2	94	64,3
45	56,3	95	67,3
46	51,8	96	54,8
47	59,6	97	62,7
48	56,7	98	62,5
49	61,6	99	64,8
50	58,6	100	64,3

4.3.2 Parafinli yöntem ile büzülme limiti tayini sonuçları

Parafinli yöntem ile büzülme limiti tayini deneyleri ASTM D 4943-02 (2002) standardına uygun bir Şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları izelge 4.5'te verilmiştir.

4.4 Ters Ekstrüzyon Yöntemi Sonuçları

Deneyler 50 ift zemin numunesi için plastik limitten likit limite kadar dağılım gösteren en az 10 farklı su içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ankara Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Elde edilen ekstrüzyon gerilmeleri ve su içerikleri Şekil 4.2'de gösterildiği gibi yarı logaritmik grafiklere aktarılmıŐtır. Her bir grafik için, grafikte belirlenen noktalara en uygun zarf çizilmiştir. Bu aşamada Kayabalı ve Tfeni'nin (2008, 2010a) yapmıŐ oldukları çalışmalar ve diğer yöntemlerle bulunan limitlerine karşılık gelen ekstrüzyon değerleri göz önünde bulundurularak, 20 kPa'lık ekstrüzyona karşılık gelen su muhtevasının likit limit; 2000 kPa'lık ekstrüzyona karşılık gelen su muhtevasının ise plastik limit olarak kabul edilmesi uygun grlmŐtir. Şekil 4.2'de 01 numaralı zemin numunesinin plastik limit ve likit limitlerinin belirlenmesi gösterilmiştir. Her numune için bu işlemler gerçekleŐtirilerek belirlenen plastik limit ve likit limitler izelge 4.6'da verilmiştir.

4.5 Farklı Yöntemler ile Elde Edilen Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışmada 100 adet örneğin üç kıvam limitini belirlemek için altı farklı deney yapılmıştır. Likit limit tayini için 3, plastik limit ve büzülme limitleri için ise 2'Őer farklı deney yöntemi kullanılmıştır. Aynı kıvam limitini veren deney sonuçları birbirleriyle bu baŐlık altında karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4 Zeminlerin cıvalı yöntem ile elde edilmiş büzülme limitleri (*)

Zemin No.	SL	Zemin No.	SL
1	12,6	51	12,6
2	11,6	52	12,4
3	14,5	53	12,7
4	14,9	54	14,5
5	12,8	55	13,2
6	11,4	56	12,0
7	11,4	57	11,0
8	14,0	58	14,0
9	14,0	59	14,6
10	11,8	60	15,7
11	22,6	61	21,2
12	11,5	62	14,0
13	18,8	63	12,2
14	21,5	64	14,4
15	24,4	65	20,7
16	24,9	66	22,3
17	15,2	67	31,6
18	24,0	68	30,5
19	22,7	69	18,2
20	14,9	70	14,6
21	20,1	71	18,1
22	16,4	72	11,9
23	16,6	73	14,9
24	25,5	74	24,7
25	16,3	75	16,9
26	25,0	76	23,4
27	17,4	77	16,1
28	18,2	78	14,5
29	19,0	79	13,2
30	21,6	80	20,2
31	26,1	81	22,8
32	17,2	82	12,2
33	15,5	83	14,0
34	13,0	84	12,5
35	15,3	85	14,6
36	22,3	86	20,1
37	17,2	87	14,8
38	26,9	88	23,9
39	16,5	89	16,0
40	23,8	90	22,6
41	26,8	91	22,5
42	14,2	92	13,7
43	23,9	93	24,8
44	18,5	94	16,2
45	18,9	95	30,3
46	20,3	96	22,3
47	14,1	97	15,2
48	19,3	98	21,3
49	18,5	99	22,6
50	13,8	100	16,9

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil KAYABALI'nın izniyle kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 Zeminlerin parafınli yöntem ile elde edilmiş büzülme limitleri (*)

Zemin No.	SL	Zemin No.	SL
1	12,5	51	12,8
2	12,4	52	14,9
3	12,8	53	12,5
4	13,8	54	14,1
5	18,4	55	13,5
6	11,3	56	10,6
7	10,7	57	11,6
8	12,9	58	9,9
9	13,3	59	13,7
10	10,5	60	12,7
11	19,8	61	18,3
12	12,3	62	9,8
13	19,0	63	14,1
14	20,6	64	10,0
15	22,8	65	17,2
16	22,1	66	20,6
17	13,0	67	27,1
18	21,9	68	29,8
19	22,2	69	15,2
20	15,3	70	11,6
21	15,6	71	17,8
22	11,9	72	12,8
23	12,2	73	13,4
24	20,3	74	40,7
25	12,6	75	11,6
26	19,4	76	17,0
27	13,5	77	12,7
28	12,9	78	11,7
29	12,8	79	14,6
30	19,0	80	16,6
31	21,8	81	23,0
32	11,2	82	10,6
33	12,8	83	11,6
34	10,2	84	10,1
35	12,4	85	12,6
36	19,8	86	17,7
37	15,4	87	12,4
38	22,3	88	20,2
39	14,1	89	13,9
40	19,2	90	18,7
41	24,5	91	19,8
42	10,8	92	13,0
43	20,3	93	20,3
44	13,3	94	13,9
45	15,3	95	26,7
46	16,3	96	17,3
47	13,8	97	13,7
48	17,3	98	15,8
49	16,6	99	19,2
50	13,9	100	14,5

* Bu veriler Prof. Dr. Kamil KAYABALI'nın izniyle kullanılmıştır.

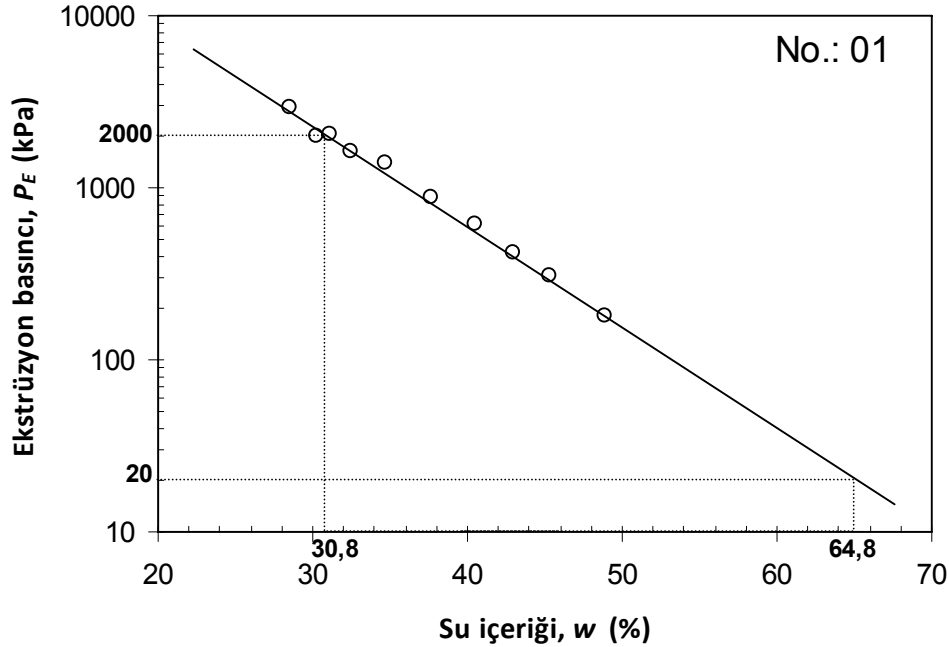
Çizelge 4.6 Ters ekstrüzyon yöntemi ile elde edilmiş plastik limit ve likit limitler

Zemin No.	PL	LL	Zemin No.	PL	LL
1	30,8	64,8	51	35,7	77,1
2	26,8	57,6	52	30,9	64,3
3	32,6	62,6	53	37,0	71,5
4	28,6	56,3	54	29,5	62,7
5	36,4	71,6	55	39,4	77,2
6	36,1	76,3	56	36,3	78,2
7	37,8	79,8	57	39,2	85,4
8	30,1	59,4	58	32,0	72,0
9	35,1	68,2	59	34,3	69,6
10	35,2	74,8	60	35,8	84,7
11	36,3	80,7	61	31,9	58,0
12	22,5	51,5	62	25,4	62,1
13	26,7	62,3	63	28,3	76,3
14	43,2	75,2	64	43,5	83,4
15	39,4	67,6	65	41,0	74,3
16	30,8	67,4	66	39,5	69,9
17	27,5	59,9	67	29,2	64,2
18	33,4	53,9	68	35,1	54,8
19	30,5	53,2	69	32,2	60,1
20	25,5	55,5	70	28,2	59,1
21	26,5	51,5	71	30,1	61,1
22	30,2	61,3	72	30,4	62,8
23	30,6	62,1	73	32,0	70,1
24	26,7	47,2	74	33,5	58,0
25	29,4	62,6	75	29,6	63,8
26	28,2	48,7	76	32,9	59,3
27	30,5	60,7	77	29,3	68,9
28	28,1	57,9	78	29,9	64,1
29	32,7	65,2	79	36,3	72,3
30	27,0	51,8	80	28,9	59,8
31	30,6	54,4	81	34,8	64,4
32	25,9	56,0	82	27,8	70,7
33	29,7	58,3	83	31,3	71,4
34	23,0	49,4	84	25,0	52,3
35	28,6	57,2	85	29,1	67,1
36	26,5	46,5	86	29,0	56,2
37	30,0	67,0	87	28,2	70,6
38	32,0	56,5	88	33,7	63,0
39	27,9	57,5	89	29,3	65,9
40	27,3	47,2	90	30,6	57,0
41	39,5	67,8	91	42,2	74,5
42	30,8	64,2	92	28,8	64,2
43	33,6	61,6	93	36,2	69,3
44	25,4	53,8	94	28,0	62,2
45	26,8	52,6	95	31,7	61,6
46	26,9	50,3	96	30,3	56,9
47	28,3	53,1	97	29,3	59,2
48	30,3	53,9	98	33,6	62,8
49	31,3	56,7	99	35,0	66,8
50	26,2	53,7	100	28,7	62,1

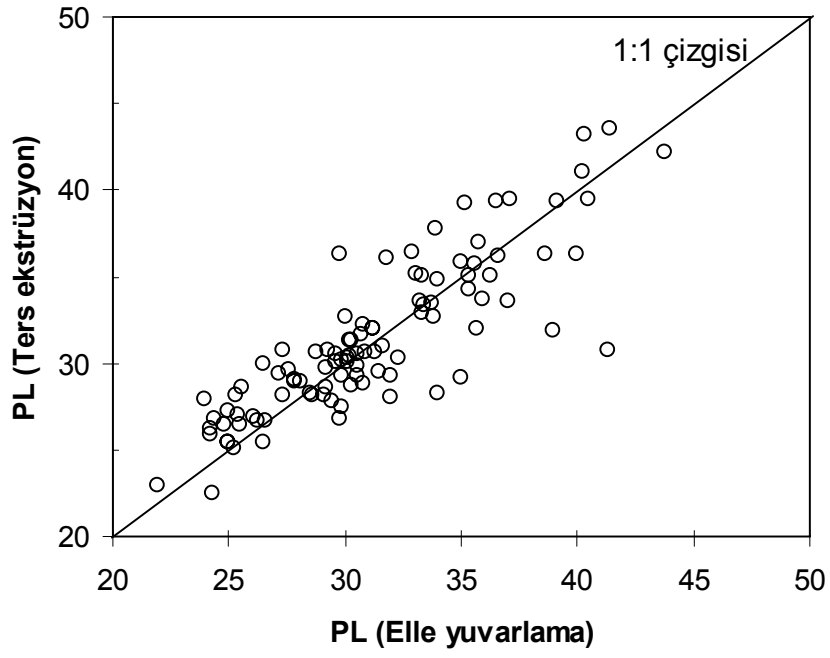
Şekil 4.4'te ve çizelge 4.7'de elle yuvarlama yöntemi ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen plastik limit sonuçları karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere iki deney yöntemi sonucunda elde edilen sonuçlar arasındaki farklar %0 ile %10 arasında yoğunlaşmaktadır.

Şekil 4.5'te ve çizelge 4.8'de Casagrande aleti ile ve koni penetrasyon yöntemleri ile belirlenen likit limit sonuçları verilmiştir. Koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitler Casagrande aleti ile elde edilen likit limitlerinden tüm örnekler için daha yüksek olmuştur. Aradaki farklar %2 ile %5 arasında yoğunlaşmaktadır.

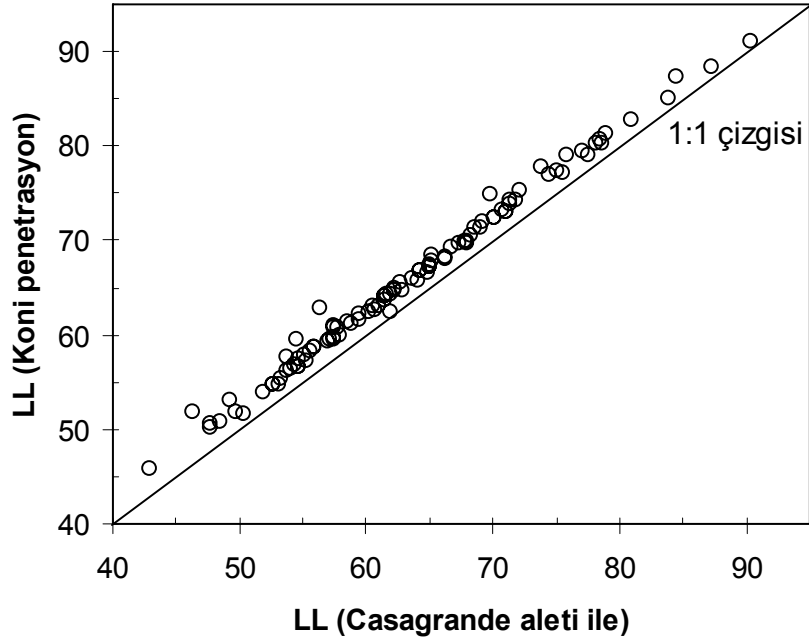
Şekil 4.6'da ve çizelge 4.9'da Casagrande aleti ile ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile belirlenen likit limit sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüleceği üzere iki deney yöntemi sonucunda elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar %0 ile %8 arasında yoğunlaşmıştır.



Şekil 4.3 01 numaralı numunenin ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik limit ve likit limitlerinin belirlenmesi



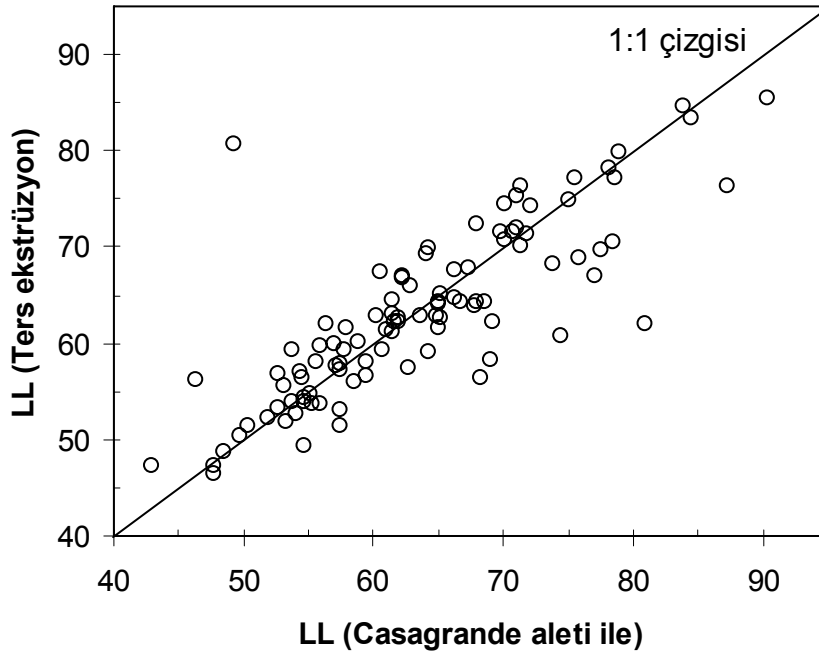
Şekil 4.4 Elle yuvarlama ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen plastik limitlerin karşılaştırılması



Şekil 4.5 Casagrande aleti ile ve koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması

Şekil 4.7’de ve çizelge 4.10’da koni penetrasyon ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile belirlenen likit limit sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda değişimlerin %0 ile %9 arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 4.8’de ve çizelge 4.11’de büzülme limitinin belirlenmesinde kullanılan cıvalı yöntem ve parafinli yöntem ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu iki yöntem ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde aralarındaki farkın ağırlıklı olarak %0 ile %25 arasında gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.6 Casagrande aleti ile ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması

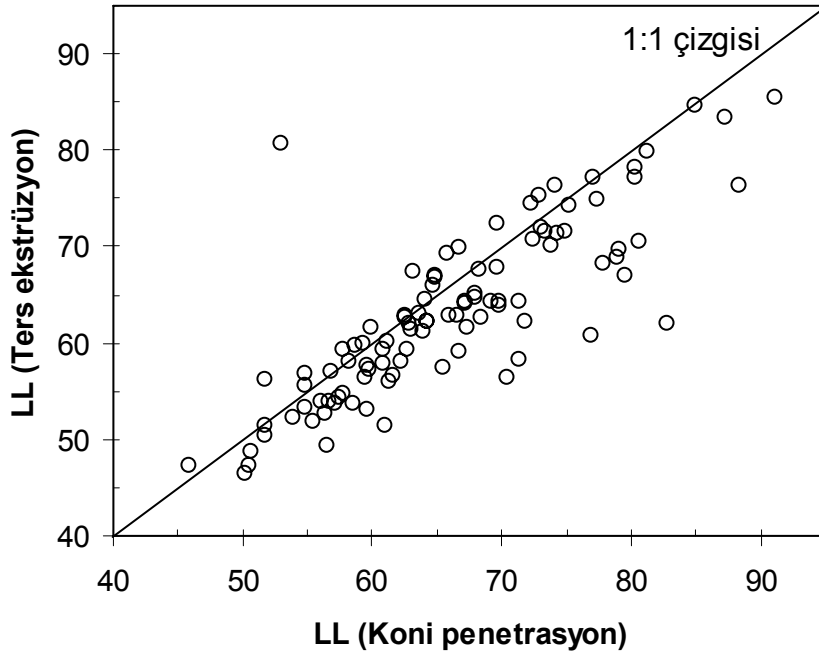
Bu karşılaştırmalar incelendiğinde likit limit ve plastik limitin belirlenmesi için kullanılan farklı deney yöntemleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki değişimin %0 ile %10 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Büzülme limitinde bu aralık daha geniş olmuş ve %0 - %25 olarak gerçekleşmiştir. Burada dikkat edilecek bir diğer nokta ise, koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin Casagrande yöntemi ile elde edilen likit limitlere göre istisnasız her numune için daha yüksek olmasıdır.

Çizelge 4.7 Elle yuvarlama ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen plastik limitlerin karşılaştırılması

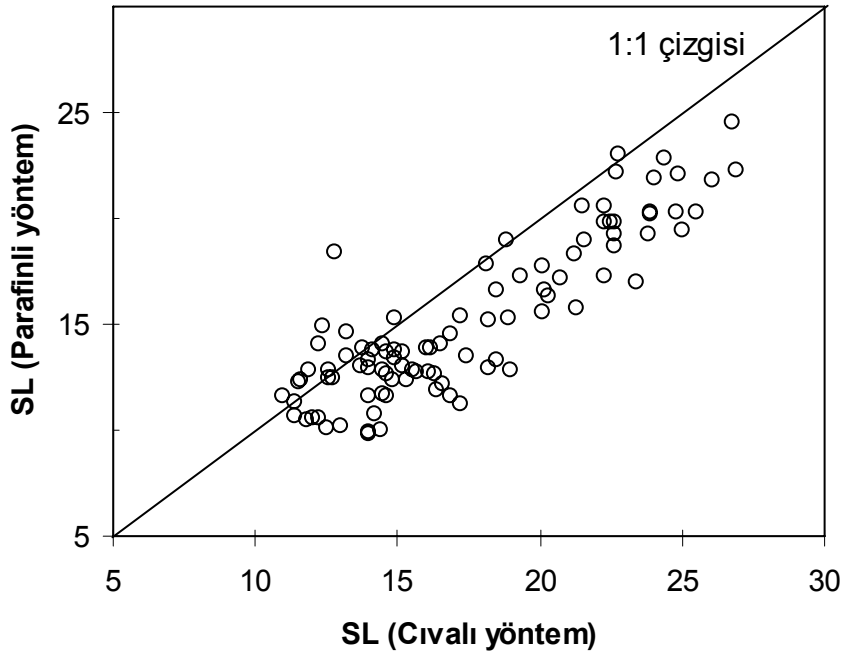
Zemin No.	Elle		Fark	Değişim (%)	Zemin No.	Elle		Fark	Değişim (%)
	Yuvarlama PL	Ters Ekst. PL				Yuvarlama PL	Ters Ekst. PL		
1	29,3	30,8	-1,5	-5,0	51	35,6	35,7	-0,1	-0,3
2	24,4	26,8	-2,4	-9,8	52	31,6	30,9	0,7	2,1
3	30,0	32,6	-2,6	-8,8	53	35,8	37,0	-1,2	-3,4
4	25,6	28,6	-3,0	-11,7	54	31,5	29,5	2,0	6,3
5	32,9	36,4	-3,5	-10,7	55	36,5	39,4	-2,9	-7,9
6	31,8	36,1	-4,3	-13,5	56	38,6	36,3	2,3	6,0
7	33,9	37,8	-3,9	-11,4	57	35,2	39,2	-4,0	-11,5
8	29,6	30,1	-0,5	-1,7	58	35,7	32,0	3,7	10,4
9	33,3	35,1	-1,8	-5,4	59	35,3	34,3	1,0	2,8
10	33,1	35,2	-2,1	-6,4	60	35,0	35,8	-0,8	-2,3
11	29,8	36,3	-6,5	-21,8	61	39,0	31,9	7,1	18,2
12	24,3	22,5	1,8	7,6	62	26,5	25,4	1,1	4,2
13	26,6	26,7	-0,1	-0,3	63	34,0	28,3	5,7	16,8
14	40,3	43,2	-2,9	-7,2	64	41,4	43,5	-2,1	-5,1
15	39,1	39,4	-0,3	-0,8	65	40,2	41,0	-0,8	-2,0
16	41,3	30,8	10,5	25,4	66	40,5	39,5	1,0	2,5
17	29,9	27,5	2,4	7,9	67	35,0	29,2	5,8	16,6
18	33,4	33,4	0,0	0,0	68	36,3	35,1	1,2	3,3
19	30,5	30,5	0,0	0,0	69	30,8	32,2	-1,4	-4,5
20	25,0	25,5	-0,5	-1,9	70	27,3	28,2	-0,9	-3,3
21	24,8	26,5	-1,7	-6,9	71	30,1	30,1	0,0	0,0
22	29,9	30,2	-0,3	-1,0	72	30,2	30,4	-0,2	-0,7
23	28,8	30,6	-1,8	-6,3	73	31,2	32,0	-0,8	-2,6
24	26,2	26,7	-0,5	-1,9	74	33,7	33,5	0,2	0,6
25	27,2	29,4	-2,2	-8,0	75	27,6	29,6	-2,0	-7,2
26	28,6	28,2	0,4	1,4	76	33,3	32,9	0,4	1,3
27	29,6	30,5	-0,9	-3,0	77	32,0	29,3	2,7	8,5
28	25,3	28,1	-2,8	-11,1	78	30,5	29,9	0,6	2,0
29	33,8	32,7	1,1	3,3	79	40,0	36,3	3,7	9,3
30	25,4	27,0	-1,6	-6,4	80	27,8	28,9	-1,1	-4,0
31	30,9	30,6	0,3	1,0	81	34,0	34,8	-0,8	-2,3
32	24,2	25,9	-1,7	-7,0	82	29,4	27,8	1,6	5,4
33	29,2	29,7	-0,5	-1,8	83	30,2	31,3	-1,1	-3,8
34	21,9	23,0	-1,1	-4,8	84	25,2	25,0	0,2	0,6
35	29,2	28,6	0,6	2,1	85	27,8	29,1	-1,3	-4,5
36	25,5	26,5	-1,0	-3,9	86	28,1	29,0	-0,9	-3,1
37	26,5	30,0	-3,5	-13,2	87	29,1	28,2	0,9	3,2
38	31,2	32,0	-0,8	-2,4	88	35,9	33,7	2,2	6,1
39	24,0	27,9	-3,9	-16,3	89	29,9	29,3	0,6	2,1
40	25,0	27,3	-2,3	-9,1	90	31,3	30,6	0,7	2,2
41	37,1	39,5	-2,4	-6,4	91	43,8	42,2	1,6	3,7
42	27,3	30,8	-3,5	-12,9	92	30,8	28,8	2,0	6,5
43	37,0	33,6	3,4	9,2	93	36,6	36,2	0,4	1,1
44	25,0	25,4	-0,4	-1,6	94	32,0	28,0	4,0	12,5
45	29,8	26,8	3,0	10,0	95	30,7	31,7	-1,0	-3,3
46	26,1	26,9	-0,8	-3,1	96	32,3	30,3	2,0	6,2
47	28,5	28,3	0,2	0,7	97	30,5	29,3	1,2	4,0
48	30,1	30,3	-0,2	-0,7	98	33,2	33,6	-0,4	-1,1
49	30,3	31,3	-1,0	-3,3	99	35,3	35,0	0,3	0,7
50	24,2	26,2	-2,0	-8,3	100	30,3	28,7	1,6	5,3

Çizelge 4.8 Casagrande aleti ile ve koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması

Zemin No.	Casagrande LL	Koni Penetrasyon		Değişim (%)	Zemin No.	Casagrande LL	Koni Penetrasyon		Değişim (%)
		LL	Fark				LL	Fark	
1	66,3	68,0	-1,7	-2,6	51	75,5	77,1	-1,6	-2,1
2	57,1	59,6	-2,5	-4,4	52	66,7	69,2	-2,5	-3,7
3	62,0	62,5	-0,5	-0,8	53	70,8	73,3	-2,5	-3,5
4	54,5	59,5	-5,0	-9,2	54	63,7	65,9	-2,2	-3,5
5	69,8	74,9	-5,1	-7,3	55	78,6	80,3	-1,7	-2,2
6	71,4	74,2	-2,8	-3,9	56	78,1	80,3	-2,2	-2,8
7	79,0	81,3	-2,3	-2,9	57	90,3	91,1	-0,8	-0,9
8	57,8	60,8	-3,0	-5,2	58	71,1	73,0	-1,9	-2,7
9	73,9	77,8	-3,9	-5,3	59	77,6	79,1	-1,5	-1,9
10	75,0	77,4	-2,4	-3,2	60	83,9	85,0	-1,1	-1,3
11	49,3	53,0	-3,7	-7,5	61	59,4	62,3	-2,9	-4,9
12	57,4	61,0	-3,6	-6,3	62	81,0	82,8	-1,8	-2,2
13	69,2	71,9	-2,7	-3,9	63	87,2	88,4	-1,2	-1,4
14	71,0	72,9	-1,9	-2,7	64	84,5	87,3	-2,8	-3,3
15	66,3	68,3	-2,0	-3,0	65	72,2	75,3	-3,1	-4,3
16	60,6	63,1	-2,5	-4,1	66	64,3	66,8	-2,5	-3,9
17	57,0	59,3	-2,3	-4,0	67	65,0	67,2	-2,2	-3,4
18	53,7	56,1	-2,4	-4,5	68	55,1	57,8	-2,7	-4,9
19	52,6	54,8	-2,2	-4,2	69	58,9	61,1	-2,2	-3,7
20	53,1	54,8	-1,7	-3,2	70	64,3	66,8	-2,5	-3,9
21	50,3	51,7	-1,4	-2,8	71	61,5	64,0	-2,5	-4,1
22	61,0	63,0	-2,0	-3,3	72	64,9	66,5	-1,6	-2,5
23	56,3	62,8	-6,5	-11,5	73	71,4	73,9	-2,5	-3,5
24	42,9	45,8	-2,9	-6,8	74	55,6	58,3	-2,7	-4,9
25	65,2	68,5	-3,3	-5,1	75	67,8	69,8	-2,0	-2,9
26	48,5	50,7	-2,2	-4,5	76	53,8	57,7	-3,9	-7,2
27	74,4	77,0	-2,6	-3,5	77	75,9	79,0	-3,1	-4,1
28	57,4	60,8	-3,4	-5,9	78	65,0	67,2	-2,2	-3,4
29	65,2	67,9	-2,7	-4,1	79	67,9	69,7	-1,8	-2,7
30	53,3	55,4	-2,1	-3,9	80	55,9	58,7	-2,8	-5,0
31	54,6	57,4	-2,8	-5,1	81	61,5	64,1	-2,6	-4,2
32	58,5	61,3	-2,8	-4,8	82	70,2	72,4	-2,2	-3,1
33	69,0	71,3	-2,3	-3,3	83	71,8	74,3	-2,5	-3,5
34	54,6	56,6	-2,0	-3,7	84	51,9	53,9	-2,0	-3,9
35	57,4	59,7	-2,3	-4,0	85	62,2	64,9	-2,7	-4,3
36	47,8	50,2	-2,4	-5,0	86	46,4	51,8	-5,4	-11,6
37	77,1	79,5	-2,4	-3,1	87	78,4	80,7	-2,3	-2,9
38	68,2	70,5	-2,3	-3,4	88	61,4	63,6	-2,2	-3,6
39	62,7	65,5	-2,8	-4,5	89	62,8	64,7	-1,9	-3,0
40	47,7	50,5	-2,8	-5,9	90	54,4	56,8	-2,4	-4,4
41	67,3	69,6	-2,3	-3,4	91	70,2	72,3	-2,1	-3,0
42	68,6	71,3	-2,7	-3,9	92	68,0	69,8	-1,8	-2,6
43	57,9	60,0	-2,1	-3,6	93	64,1	65,8	-1,7	-2,7
44	55,3	57,2	-1,9	-3,4	94	61,9	64,3	-2,4	-3,9
45	54,0	56,3	-2,3	-4,3	95	65,1	67,3	-2,2	-3,4
46	49,8	51,8	-2,0	-4,0	96	52,6	54,8	-2,2	-4,2
47	57,4	59,6	-2,2	-3,8	97	60,7	62,7	-2,0	-3,3
48	54,6	56,7	-2,1	-3,8	98	60,2	62,5	-2,3	-3,8
49	59,5	61,6	-2,1	-3,5	99	62,2	64,8	-2,6	-4,2
50	55,9	58,6	-2,7	-4,8	100	61,7	64,3	-2,6	-4,2



Şekil 4.7 Koni penetrasyon ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması



Şekil 4.8 Cıvalı yöntem ve parafinli yöntem ile elde edilen büzülme limitlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.9 Casagrande aleti ile ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması

Zemin No.	Casagrande LL	Ters Ekstrüzyon LL	Fark	Değişim (%)	Zemin No.	Casagrande LL	Ters Ekstrüzyon LL	Fark	Değişim (%)
1	66,3	64,8	1,5	2,3	51	75,5	77,1	-1,6	-2,1
2	57,1	57,6	-0,5	-0,8	52	66,7	64,3	2,4	3,6
3	62,0	62,6	-0,6	-1,0	53	70,8	71,5	-0,7	-1,0
4	54,5	56,3	-1,8	-3,3	54	63,7	62,7	1,0	1,5
5	69,8	71,6	-1,8	-2,6	55	78,6	77,2	1,4	1,8
6	71,4	76,3	-4,9	-6,9	56	78,1	78,2	-0,1	-0,1
7	79,0	79,8	-0,8	-1,0	57	90,3	85,4	4,9	5,4
8	57,8	59,4	-1,6	-2,8	58	71,1	72,0	-0,9	-1,2
9	73,9	68,2	5,7	7,7	59	77,6	69,6	8,0	10,3
10	75,0	74,8	0,2	0,2	60	83,9	84,7	-0,8	-1,0
11	49,3	80,7	-31,4	-63,7	61	59,4	58,0	1,4	2,4
12	57,4	51,5	5,9	10,3	62	81,0	62,1	18,9	23,3
13	69,2	62,3	6,9	10,0	63	87,2	76,3	10,9	12,5
14	71,0	75,2	-4,2	-5,9	64	84,5	83,4	1,1	1,3
15	66,3	67,6	-1,3	-2,0	65	72,2	74,3	-2,1	-2,9
16	60,6	67,4	-6,8	-11,2	66	64,3	69,9	-5,6	-8,7
17	57,0	59,9	-2,9	-5,1	67	65,0	64,2	0,8	1,2
18	53,7	53,9	-0,2	-0,4	68	55,1	54,8	0,3	0,5
19	52,6	53,2	-0,6	-1,1	69	58,9	60,1	-1,2	-2,0
20	53,1	55,5	-2,4	-4,5	70	64,3	59,1	5,2	8,1
21	50,3	51,5	-1,2	-2,4	71	61,5	61,1	0,4	0,7
22	61,0	61,3	-0,3	-0,5	72	64,9	62,8	2,1	3,2
23	56,3	62,1	-5,8	-10,3	73	71,4	70,1	1,3	1,8
24	42,9	47,2	-4,3	-10,0	74	55,6	58,0	-2,4	-4,3
25	65,2	62,6	2,6	4,0	75	67,8	63,8	4,0	5,9
26	48,5	48,7	-0,2	-0,4	76	53,8	59,3	-5,5	-10,1
27	74,4	60,7	13,7	18,4	77	75,9	68,9	7,0	9,2
28	57,4	57,9	-0,5	-0,9	78	65,0	64,1	0,9	1,4
29	65,2	65,2	0,0	0,0	79	67,9	72,3	-4,4	-6,5
30	53,3	51,8	1,5	2,8	80	55,9	59,8	-3,9	-7,0
31	54,6	54,4	0,2	0,4	81	61,5	64,4	-2,9	-4,7
32	58,5	56,0	2,5	4,3	82	70,2	70,7	-0,5	-0,7
33	69,0	58,3	10,7	15,5	83	71,8	71,4	0,4	0,6
34	54,6	49,4	5,2	9,6	84	51,9	52,3	-0,4	-0,8
35	57,4	57,2	0,2	0,4	85	62,2	67,1	-4,9	-7,8
36	47,8	46,5	1,3	2,7	86	46,4	56,2	-9,8	-21,1
37	77,1	67,0	10,1	13,2	87	78,4	70,6	7,8	10,0
38	68,2	56,5	11,7	17,2	88	61,4	63,0	-1,6	-2,6
39	62,7	57,5	5,2	8,3	89	62,8	65,9	-3,1	-4,9
40	47,7	47,2	0,5	1,0	90	54,4	57,0	-2,6	-4,8
41	67,3	67,8	-0,5	-0,7	91	70,2	74,5	-4,3	-6,2
42	68,6	64,2	4,4	6,4	92	68,0	64,2	3,8	5,6
43	57,9	61,6	-3,7	-6,4	93	64,1	69,3	-5,2	-8,1
44	55,3	53,8	1,5	2,7	94	61,9	62,2	-0,3	-0,5
45	54,0	52,6	1,4	2,6	95	65,1	61,6	3,5	5,3
46	49,8	50,3	-0,5	-1,0	96	52,6	56,9	-4,3	-8,2
47	57,4	53,1	4,3	7,5	97	60,7	59,2	1,5	2,5
48	54,6	53,9	0,7	1,3	98	60,2	62,8	-2,6	-4,3
49	59,5	56,7	2,8	4,7	99	62,2	66,8	-4,6	-7,5
50	55,9	53,7	2,2	3,9	100	61,7	62,1	-0,4	-0,7

Çizelge 4.10 Koni penetrasyon ve ters ekstrüzyon yöntemleri ile elde edilen likit limitlerin karşılaştırılması

Zemin No.	Koni			Değişim (%)	Zemin No.	Koni			Değişim (%)
	Penetrasyon LL	Ters Ekstrüzyon LL	Fark			Penetrasyon LL	Ters Ekstrüzyon LL	Fark	
1	68,0	64,8	3,2	4,8	51	77,1	77,1	0,0	0,0
2	59,6	57,6	2,0	3,4	52	69,2	64,3	4,9	7,1
3	62,5	62,6	-0,1	-0,2	53	73,3	71,5	1,8	2,5
4	59,5	56,3	3,2	5,4	54	65,9	62,7	3,2	4,8
5	74,9	71,6	3,3	4,4	55	80,3	77,2	3,1	3,9
6	74,2	76,3	-2,1	-2,8	56	80,3	78,2	2,1	2,6
7	81,3	79,8	1,5	1,9	57	91,1	85,4	5,7	6,2
8	60,8	59,4	1,4	2,3	58	73,0	72,0	1,0	1,4
9	77,8	68,2	9,6	12,3	59	79,1	69,6	9,5	12,0
10	77,4	74,8	2,6	3,3	60	85,0	84,7	0,3	0,4
11	53,0	80,7	-27,7	-52,3	61	62,3	58,0	4,3	6,9
12	61,0	51,5	9,5	15,6	62	82,8	62,1	20,7	25,0
13	71,9	62,3	9,6	13,4	63	88,4	76,3	12,1	13,7
14	72,9	75,2	-2,3	-3,1	64	87,3	83,4	3,9	4,5
15	68,3	67,6	0,7	1,0	65	75,3	74,3	1,0	1,3
16	63,1	67,4	-4,3	-6,8	66	66,8	69,9	-3,1	-4,6
17	59,3	59,9	-0,6	-1,1	67	67,2	64,2	3,0	4,5
18	56,1	53,9	2,2	3,9	68	57,8	54,8	3,0	5,2
19	54,8	53,2	1,6	2,9	69	61,1	60,1	1,0	1,6
20	54,8	55,5	-0,7	-1,2	70	66,8	59,1	7,7	11,5
21	51,7	51,5	0,2	0,4	71	64,0	61,1	2,9	4,5
22	63,0	61,3	1,7	2,7	72	66,5	62,8	3,7	5,6
23	62,8	62,1	0,7	1,1	73	73,9	70,1	3,8	5,1
24	45,8	47,2	-1,4	-3,1	74	58,3	58,0	0,3	0,5
25	68,5	62,6	5,9	8,7	75	69,8	63,8	6,0	8,6
26	50,7	48,7	2,0	3,9	76	57,7	59,3	-1,6	-2,7
27	77,0	60,7	16,3	21,2	77	79,0	68,9	10,1	12,8
28	60,8	57,9	2,9	4,8	78	67,2	64,1	3,1	4,6
29	67,9	65,2	2,7	4,0	79	69,7	72,3	-2,6	-3,7
30	55,4	51,8	3,6	6,5	80	58,7	59,8	-1,1	-1,9
31	57,4	54,4	3,0	5,2	81	64,1	64,4	-0,3	-0,5
32	61,3	56,0	5,3	8,6	82	72,4	70,7	1,7	2,4
33	71,3	58,3	13,0	18,2	83	74,3	71,4	2,9	3,9
34	56,6	49,4	7,2	12,8	84	53,9	52,3	1,6	3,0
35	59,7	57,2	2,5	4,2	85	64,9	67,1	-2,2	-3,3
36	50,2	46,5	3,7	7,4	86	51,8	56,2	-4,4	-8,5
37	79,5	67,0	12,5	15,8	87	80,7	70,6	10,1	12,5
38	70,5	56,5	14,0	19,9	88	63,6	63,0	0,6	0,9
39	65,5	57,5	8,0	12,2	89	64,7	65,9	-1,2	-1,8
40	50,5	47,2	3,3	6,5	90	56,8	57,0	-0,2	-0,4
41	69,6	67,8	1,8	2,6	91	72,3	74,5	-2,2	-3,1
42	71,3	64,2	7,1	9,9	92	69,8	64,2	5,6	8,0
43	60,0	61,6	-1,6	-2,6	93	65,8	69,3	-3,5	-5,3
44	57,2	53,8	3,4	5,9	94	64,3	62,2	2,1	3,3
45	56,3	52,6	3,7	6,5	95	67,3	61,6	5,7	8,4
46	51,8	50,3	1,5	2,9	96	54,8	56,9	-2,1	-3,8
47	59,6	53,1	6,5	10,9	97	62,7	59,2	3,5	5,6
48	56,7	53,9	2,8	5,0	98	62,5	62,8	-0,3	-0,4
49	61,6	56,7	4,9	8,0	99	64,8	66,8	-2,0	-3,2
50	58,6	53,7	4,9	8,4	100	64,3	62,1	2,2	3,4

Çizelge 4.11 Cıvalı yöntem ve parafinli yöntem ile elde edilen büzülme limitlerinin karşılaştırılması

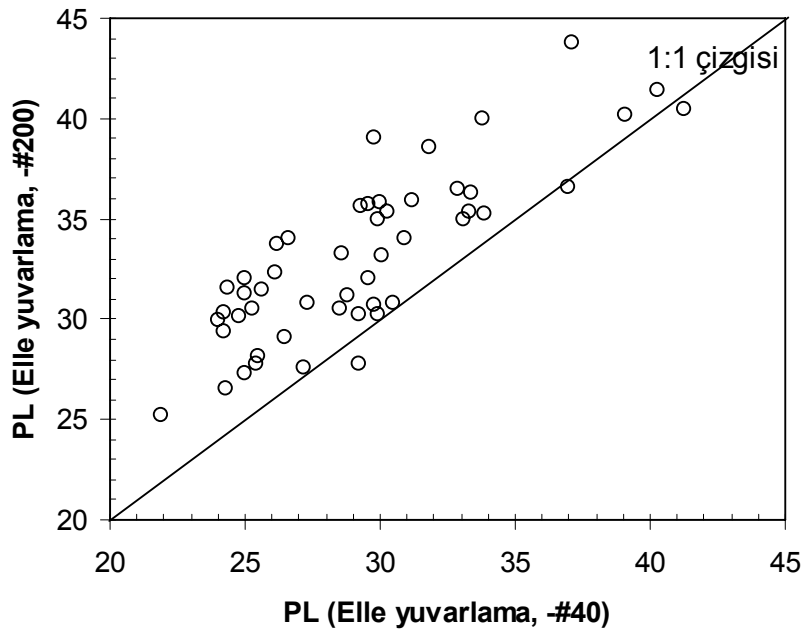
Zemin No.	Cıvalı Yöntem SL	Parafinli Yöntem SL	Fark	Değişim (%)	Zemin No.	Cıvalı Yöntem SL	Parafinli Yöntem SL	Fark	Değişim (%)
1	12,6	12,5	0,1	0,8	51	12,6	12,8	-0,2	-1,6
2	11,6	12,4	-0,8	-6,9	52	12,4	14,9	-2,5	-20,2
3	14,5	12,8	1,7	11,7	53	12,7	12,5	0,2	1,6
4	14,9	13,8	1,1	7,4	54	14,5	14,1	0,4	2,8
5	12,8	18,4	-5,6	-43,8	55	13,2	13,5	-0,3	-2,3
6	11,4	11,3	0,1	0,9	56	12,0	10,6	1,4	11,7
7	11,4	10,7	0,7	6,1	57	11,0	11,6	-0,6	-5,5
8	14,0	12,9	1,1	7,9	58	14,0	9,9	4,1	29,3
9	14,0	13,3	0,7	5,0	59	14,6	13,7	0,9	6,2
10	11,8	10,5	1,3	11,0	60	15,7	12,7	3,0	19,1
11	22,6	19,8	2,8	12,4	61	21,2	18,3	2,9	13,7
12	11,5	12,3	-0,8	-7,0	62	14,0	9,8	4,2	30,0
13	18,8	19,0	-0,2	-1,1	63	12,2	14,1	-1,9	-15,6
14	21,5	20,6	0,9	4,2	64	14,4	10,0	4,4	30,6
15	24,4	22,8	1,6	6,6	65	20,7	17,2	3,5	16,9
16	24,9	22,1	2,8	11,2	66	22,3	20,6	1,7	7,6
17	15,2	13,0	2,2	14,5	67	31,6	27,1	4,5	14,2
18	24,0	21,9	2,1	8,8	68	30,5	29,8	0,7	2,3
19	22,7	22,2	0,5	2,2	69	18,2	15,2	3,0	16,5
20	14,9	15,3	-0,4	-2,7	70	14,6	11,6	3,0	20,5
21	20,1	15,6	4,5	22,4	71	18,1	17,8	0,3	1,7
22	16,4	11,9	4,5	27,4	72	11,9	12,8	-0,9	-7,6
23	16,6	12,2	4,4	26,5	73	14,9	13,4	1,5	10,1
24	25,5	20,3	5,2	20,4	74	24,7	40,7	-16,0	-64,8
25	16,3	12,6	3,7	22,7	75	16,9	11,6	5,3	31,4
26	25,0	19,4	5,6	22,4	76	23,4	17,0	6,4	27,4
27	17,4	13,5	3,9	22,4	77	16,1	12,7	3,4	21,1
28	18,2	12,9	5,3	29,1	78	14,5	11,7	2,8	19,3
29	19,0	12,8	6,2	32,6	79	13,2	14,6	-1,4	-10,6
30	21,6	19,0	2,6	12,0	80	20,2	16,6	3,6	17,8
31	26,1	21,8	4,3	16,5	81	22,8	23,0	-0,2	-0,9
32	17,2	11,2	6,0	34,9	82	12,2	10,6	1,6	13,1
33	15,5	12,8	2,7	17,4	83	14,0	11,6	2,4	17,1
34	13,0	10,2	2,8	21,5	84	12,5	10,1	2,4	19,2
35	15,3	12,4	2,9	19,0	85	14,6	12,6	2,0	13,7
36	22,3	19,8	2,5	11,2	86	20,1	17,7	2,4	11,9
37	17,2	15,4	1,8	10,5	87	14,8	12,4	2,4	16,2
38	26,9	22,3	4,6	17,1	88	23,9	20,2	3,7	15,5
39	16,5	14,1	2,4	14,5	89	16,0	13,9	2,1	13,1
40	23,8	19,2	4,6	19,3	90	22,6	18,7	3,9	17,3
41	26,8	24,5	2,3	8,6	91	22,5	19,8	2,7	12,0
42	14,2	10,8	3,4	23,9	92	13,7	13,0	0,7	5,1
43	23,9	20,3	3,6	15,1	93	24,8	20,3	4,5	18,1
44	18,5	13,3	5,2	28,1	94	16,2	13,9	2,3	14,2
45	18,9	15,3	3,6	19,0	95	30,3	26,7	3,6	11,9
46	20,3	16,3	4,0	19,7	96	22,3	17,3	5,0	22,4
47	14,1	13,8	0,3	2,1	97	15,2	13,7	1,5	9,9
48	19,3	17,3	2,0	10,4	98	21,3	15,8	5,5	25,8
49	18,5	16,6	1,9	10,3	99	22,6	19,2	3,4	15,0
50	13,8	13,9	-0,1	-0,7	100	16,9	14,5	2,4	14,2

5. TANE BOYUNA DAYALI KARŞILAŞTIRMALAR

Bu bölümde deneylerde elde edilen sonuçlar her bir zemin örneği için 40 numaralı elek altına geçen ve 200 numaralı elek altına geçen numunelere ait değerler olarak ayrılmış ve birbirleriyle karşılaştırılarak tane boyuna bağlı olarak limit değerlerinde ve zemin sınıflarında herhangi bir değişiklik gözlenip gözlenmediği incelenmiştir.

Çizelge 5.1’de ve şekil 5.1’de elle yuvarlama yöntemi ile belirlenen plastik limitleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1’de ve şekil 5.1’de görüldüğü üzere tane boyu küçüldükçe 50 çift numunenin sadece 3 çiftinin plastik limitlerinde azalma görülmüştür. Geri kalan 47 çift numunede plastik limitleri tane boyunun küçülmesi ile %1,0 ile %30,9 arasında değişen oranlarda artış gözlenmiştir. Plastik limitlerde görülen azalmalar operatör hatalarından kaynaklanmaktadır.



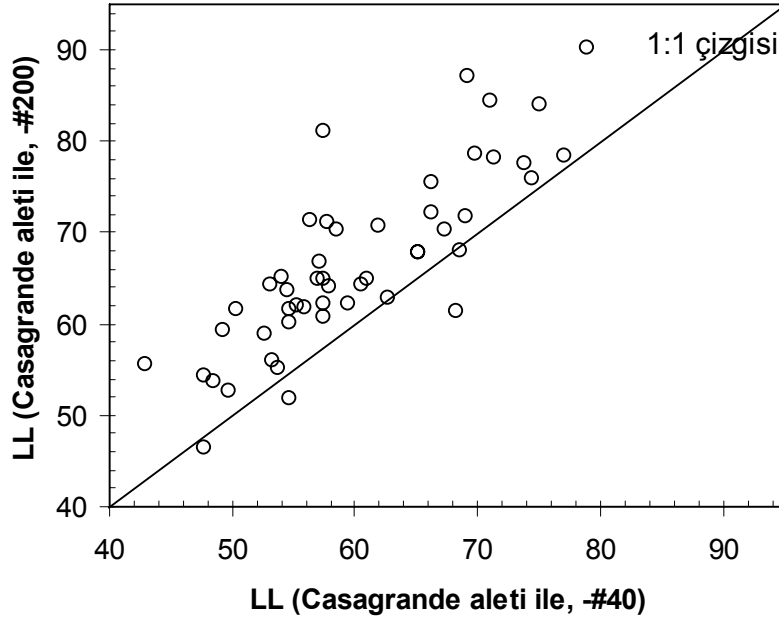
Şekil 5.1 Elle yuvarlama yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin PL dağılımları

Çizelge 5.1 Tane boyuna bağlı olarak elle yuvarlama ile plastik limit deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	PL	Zemin No.	PL	
01	29,3	51	35,6	21,5
02	24,4	52	31,6	29,5
03	30,0	53	35,8	19,3
04	25,6	54	31,5	23,0
05	32,9	55	36,5	10,9
06	31,8	56	38,6	21,4
07	33,9	57	35,2	3,8
08	29,6	58	35,7	20,6
09	33,3	59	35,3	6,0
10	33,1	60	35,0	5,7
11	29,8	61	39,0	30,9
12	24,3	62	26,5	9,1
13	26,6	63	34,0	27,8
14	40,3	64	41,4	2,7
15	39,1	65	40,2	2,8
16	41,3	66	40,5	-1,9
17	29,9	67	35,0	17,1
18	33,4	68	36,3	8,7
19	30,5	69	30,8	1,0
20	25,0	70	27,3	9,2
21	24,8	71	30,1	21,4
22	29,9	72	30,2	1,0
23	28,8	73	31,2	8,3
24	26,2	74	33,7	28,6
25	27,2	75	27,6	1,5
26	28,6	76	33,3	16,4
27	29,6	77	32,0	8,1
28	25,3	78	30,5	20,6
29	33,8	79	40,0	18,3
30	25,4	80	27,8	9,4
31	30,9	81	34,0	10,0
32	24,2	82	29,4	21,5
33	29,2	83	30,2	3,4
34	21,9	84	25,2	15,1
35	29,2	85	27,8	-4,8
36	25,5	86	28,1	10,2
37	26,5	87	29,1	9,8
38	31,2	88	35,9	15,1
39	24,0	89	29,9	24,6
40	25,0	90	31,3	25,2
41	37,1	91	43,8	18,1
42	27,3	92	30,8	12,8
43	37,0	93	36,6	-1,1
44	25,0	94	32,0	28,0
45	29,8	95	30,7	3,0
46	26,1	96	32,3	23,8
47	28,5	97	30,5	7,0
48	30,1	98	33,2	10,3
49	30,3	99	35,3	16,5
50	24,2	100	30,3	25,2

Çizelge 5.2 Tane boyuna bağlı olarak Casagrande aleti ile likit limit deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	LL	Zemin No.	LL	
01	66,3	51	75,5	13,9
02	57,1	52	66,7	16,8
03	62,0	53	70,8	14,2
04	54,5	54	63,7	16,9
05	69,8	55	78,6	12,6
06	71,4	56	78,1	9,4
07	79,0	57	90,3	14,3
08	57,8	58	71,1	23,0
09	73,9	59	77,6	5,0
10	75,0	60	83,9	11,9
11	49,3	61	59,4	20,5
12	57,4	62	81,0	41,1
13	69,2	63	87,2	26,0
14	71,0	64	84,5	19,0
15	66,3	65	72,2	8,9
16	60,6	66	64,3	6,1
17	57,0	67	65,0	14,0
18	53,7	68	55,1	2,6
19	52,6	69	58,9	12,0
20	53,1	70	64,3	21,1
21	50,3	71	61,5	22,3
22	61,0	72	64,9	6,4
23	56,3	73	71,4	26,8
24	42,9	74	55,6	29,6
25	65,2	75	67,8	4,0
26	48,5	76	53,8	10,9
27	74,4	77	75,9	2,0
28	57,4	78	65,0	13,2
29	65,2	79	67,9	4,1
30	53,3	80	55,9	4,9
31	54,6	81	61,5	12,6
32	58,5	82	70,2	20,0
33	69,0	83	71,8	4,1
34	54,6	84	51,9	-4,9
35	57,4	85	62,2	8,4
36	47,8	86	46,4	-2,9
37	77,1	87	78,4	1,7
38	68,2	88	61,4	-10,0
39	62,7	89	62,8	0,2
40	47,7	90	54,4	14,0
41	67,3	91	70,2	4,3
42	68,6	92	68,0	-0,9
43	57,9	93	64,1	10,7
44	55,3	94	61,9	11,9
45	54,0	95	65,1	20,6
46	49,8	96	52,6	5,6
47	57,4	97	60,7	5,7
48	54,6	98	60,2	10,3
49	59,5	99	62,2	4,5
50	55,9	100	61,7	10,4



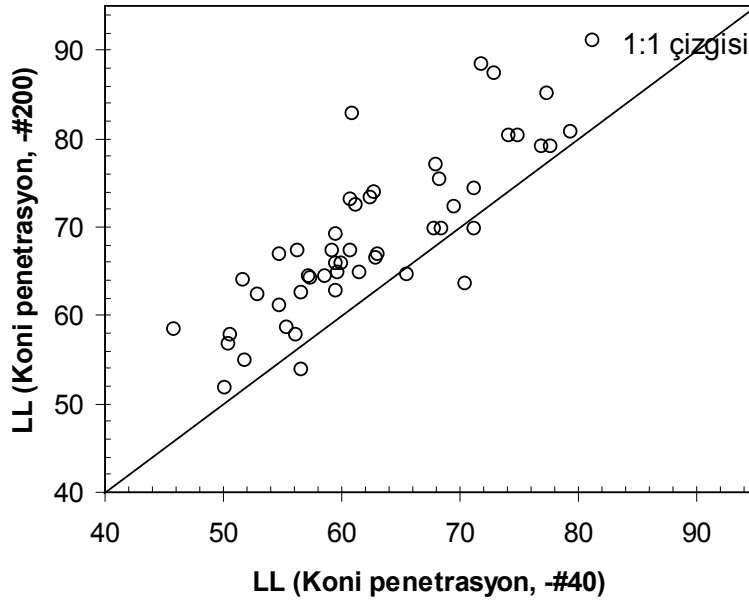
Şekil 5.2 Casagrande yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları

Casagrande aleti ile belirlenen likit limitleri şekil 5.2’de ve çizelge 5.2’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.2’de ve şekil 5.2’de görüldüğü üzere tane boyu küçüldükçe 50 çift numunenin 46’sının likit limitleri yükselmiştir. Bu artış %0,2 ile %41,1 arasında değişen oranlarda görülmüştür. Meydana gelen azalmalar, operatör hatalarından kaynaklanmaktadır.

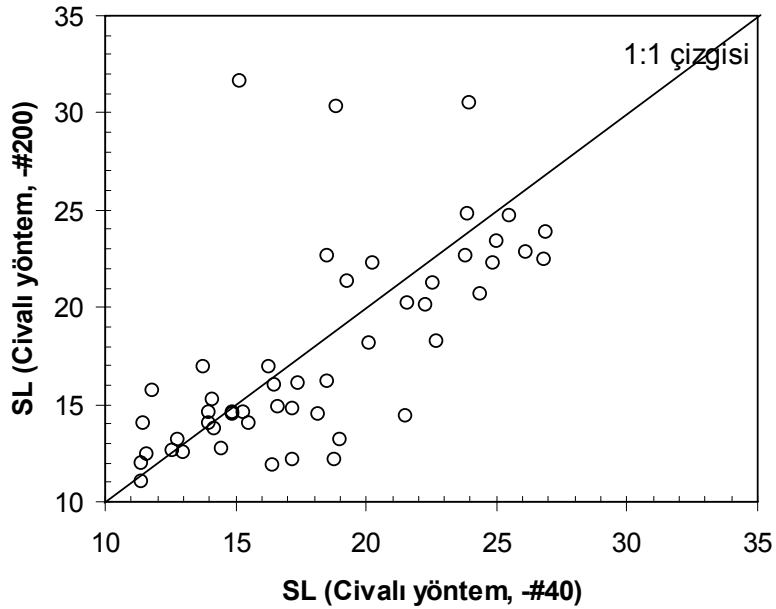
Koni penetrasyon yöntemi ile belirlenen likit limitleri şekil 5.3’te ve çizelge 5.3’te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3’te ve şekil 5.3’te görüldüğü üzere tane boyu küçüldükçe 50 çift numunenin 46 çiftinde likit limitlerde artış gözlenmiştir. Bu artış %1,5 ile %37,5 arasında değişen oranlarda meydana gelmiştir. Likit limitlerde görülen azalmalar operatör hatalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.3 Koni penetrasyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları

Cıvalı yöntem ile belirlenen büzülme limitleri şekil 5.4'te ve çizelge 5.4'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.4 Cıvalı yöntem ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin SL dağılımları

Çizelge 5.3 Tane boyuna bağlı olarak koni penetrasyon yöntemi ile likit limit deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	LL	Zemin No.	LL	
01	68,0	51	77,1	13,4
02	59,6	52	69,2	16,1
03	62,5	53	73,3	17,3
04	59,5	54	65,9	10,8
05	74,9	55	80,3	7,2
06	74,2	56	80,3	8,2
07	81,3	57	91,1	12,1
08	60,8	58	73,0	20,1
09	77,8	59	79,1	1,7
10	77,4	60	85,0	9,8
11	53,0	61	62,3	17,5
12	61,0	62	82,8	35,7
13	71,9	63	88,4	22,9
14	72,9	64	87,3	19,8
15	68,3	65	75,3	10,2
16	63,1	66	66,8	5,9
17	59,3	67	67,2	13,3
18	56,1	68	57,8	3,0
19	54,8	69	61,1	11,5
20	54,8	70	66,8	21,9
21	51,7	71	64,0	23,8
22	63,0	72	66,5	5,6
23	62,8	73	73,9	17,7
24	45,8	74	58,3	27,3
25	68,5	75	69,8	1,9
26	50,7	76	57,7	13,8
27	77,0	77	79,0	2,6
28	60,8	78	67,2	10,5
29	67,9	79	69,7	2,7
30	55,4	80	58,7	6,0
31	57,4	81	64,1	11,7
32	61,3	82	72,4	18,1
33	71,3	83	74,3	4,2
34	56,6	84	53,9	-4,8
35	59,7	85	64,9	8,7
36	50,2	86	51,8	3,2
37	79,5	87	80,7	1,5
38	70,5	88	63,6	-9,8
39	65,5	89	64,7	-1,2
40	50,5	90	56,8	12,5
41	69,6	91	72,3	3,9
42	71,3	92	69,8	-2,1
43	60,0	93	65,8	9,7
44	57,2	94	64,3	12,4
45	56,3	95	67,3	19,5
46	51,8	96	54,8	5,8
47	59,6	97	62,7	5,2
48	56,7	98	62,5	10,2
49	61,6	99	64,8	5,2
50	58,6	100	64,3	9,7

Çizelge 5.4 Tane boyuna bağlı olarak cıvalı yöntem ile büzülme limiti deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	SL	Zemin No.	SL	
01	12,6	51	12,6	0,0
02	11,6	52	12,4	6,9
03	14,5	53	12,7	-12,4
04	14,9	54	14,5	-2,7
05	12,8	55	13,2	3,1
06	11,4	56	12,0	5,3
07	11,4	57	11,0	-3,5
08	14,0	58	14,0	0,0
09	14,0	59	14,6	4,3
10	11,8	60	15,7	33,1
11	22,6	61	21,2	-6,2
12	11,5	62	14,0	21,7
13	18,8	63	12,2	-35,1
14	21,5	64	14,4	-33,0
15	24,4	65	20,7	-15,2
16	24,9	66	22,3	-10,4
17	15,2	67	31,6	107,9
18	24,0	68	30,5	27,1
19	22,7	69	18,2	-19,8
20	14,9	70	14,6	-2,0
21	20,1	71	18,1	-10,0
22	16,4	72	11,9	-27,4
23	16,6	73	14,9	-10,2
24	25,5	74	24,7	-3,1
25	16,3	75	16,9	3,7
26	25,0	76	23,4	-6,4
27	17,4	77	16,1	-7,5
28	18,2	78	14,5	-20,3
29	19,0	79	13,2	-30,5
30	21,6	80	20,2	-6,5
31	26,1	81	22,8	-12,6
32	17,2	82	12,2	-29,1
33	15,5	83	14,0	-9,7
34	13,0	84	12,5	-3,8
35	15,3	85	14,6	-4,6
36	22,3	86	20,1	-9,9
37	17,2	87	14,8	-14,0
38	26,9	88	23,9	-11,2
39	16,5	89	16,0	-3,0
40	23,8	90	22,6	-5,0
41	26,8	91	22,5	-16,0
42	14,2	92	13,7	-3,5
43	23,9	93	24,8	3,8
44	18,5	94	16,2	-12,4
45	18,9	95	30,3	60,3
46	20,3	96	22,3	9,9
47	14,1	97	15,2	7,8
48	19,3	98	21,3	10,4
49	18,5	99	22,6	22,2
50	13,8	100	16,9	22,5

Çizelge 5.5 Tane boyuna bağlı olarak parafinli yöntem ile büzülme limiti deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	SL	Zemin No.	SL	
01	12,5	51	12,8	2,4
02	12,4	52	14,9	20,2
03	12,8	53	12,5	-2,3
04	13,8	54	14,1	2,2
05	18,4	55	13,5	-26,6
06	11,3	56	10,6	-6,2
07	10,7	57	11,6	8,4
08	12,9	58	9,9	-23,3
09	13,3	59	13,7	3,0
10	10,5	60	12,7	21,0
11	19,8	61	18,3	-7,6
12	12,3	62	9,8	-20,3
13	19,0	63	14,1	-25,8
14	20,6	64	10,0	-51,5
15	22,8	65	17,2	-24,6
16	22,1	66	20,6	-6,8
17	13,0	67	27,1	108,5
18	21,9	68	29,8	36,1
19	22,2	69	15,2	-31,5
20	15,3	70	11,6	-24,2
21	15,6	71	17,8	14,1
22	11,9	72	12,8	7,6
23	12,2	73	13,4	9,8
24	20,3	74	40,7	100,5
25	12,6	75	11,6	-7,9
26	19,4	76	17,0	-12,4
27	13,5	77	12,7	-5,9
28	12,9	78	11,7	-9,3
29	12,8	79	14,6	14,1
30	19,0	80	16,6	-12,6
31	21,8	81	23,0	5,5
32	11,2	82	10,6	-5,4
33	12,8	83	11,6	-9,4
34	10,2	84	10,1	-1,0
35	12,4	85	12,6	1,6
36	19,8	86	17,7	-10,6
37	15,4	87	12,4	-19,5
38	22,3	88	20,2	-9,4
39	14,1	89	13,9	-1,4
40	19,2	90	18,7	-2,6
41	24,5	91	19,8	-19,2
42	10,8	92	13,0	20,4
43	20,3	93	20,3	0,0
44	13,3	94	13,9	4,5
45	15,3	95	26,7	74,5
46	16,3	96	17,3	6,1
47	13,8	97	13,7	-0,7
48	17,3	98	15,8	-8,7
49	16,6	99	19,2	15,7
50	13,9	100	14,5	4,3

Çizelge 5.4'te ve şekil 5.4'te görüldüğü üzere tane boyu küçüldükçe numunelerin tümü için kesin bir davranış olduğunu belirtmek zordur. Bazı numunelerde tane boyunun küçülmesiyle büzülme limitlerinde %35,1'e varan düşüşler gözlenirken, bazılarında ise %107,9'a varan artışlar gözlenmiştir.

Parafinli yöntem ile belirlenen büzülme limitleri şekil 5.5'te ve çizelge 5.5'te karşılaştırılmıştır.

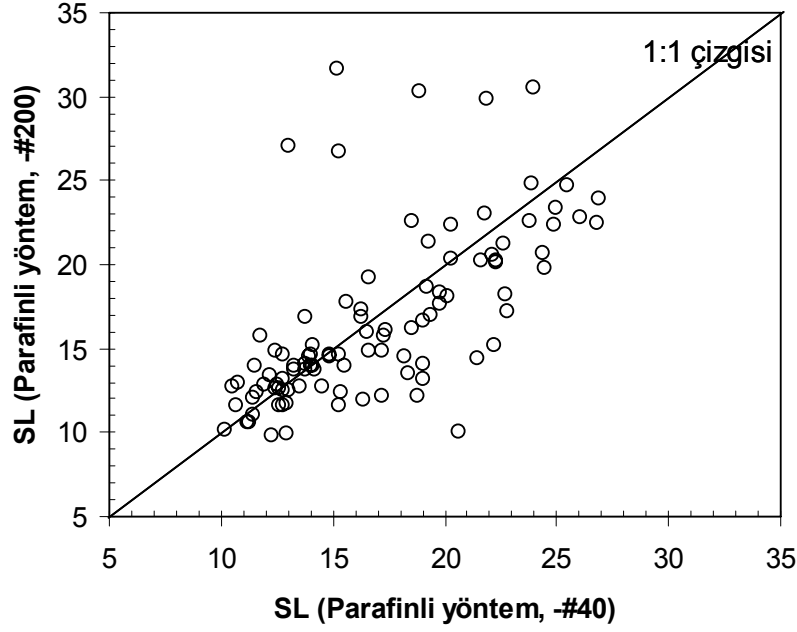
Parafinli yöntemle bulunan büzülme limiti sonuçları da sıvalı yöntemle bulunan sonuçlara benzerdir. Numunelerin tane boyunun küçülmesine bağlı olarak davranışları aynı şekilde kesin değildir. Kimi numunelerde değerler yükselirken, kimilerinde azalmalar gözlenmiştir.

Sridharan ve Prakash (1998) yaptıkları çalışma sonucu büzülme limitinin zeminin plastiklik özellikleriyle ilişkili olmadığını; daha çok tane boyu dağılımı ile bağlantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Büzülme limitinin Atterberg'in belirttiğinin aksine zeminlerin yarı katı – katı durumları arasındaki sınırı ifade edemeyeceğini, ayrıca doğal killerde doku tipinin (topaklanmış veya yönlendirilmiş) büzülme limitini doğrudan etkilediğini ifade etmişlerdir.

Doğal ince taneli zeminler değişik oranlarda kum, silt ve kil boyutlu taneler içerir. Bu şekilde dağılıma sahip bir zeminde, büzülmenin gelişimi sırasında kum boyutlu taneler arasındaki boşluklar silt boyutlu taneler, silt boyutlu taneler arasındaki boşluklar iri kil boyutlu taneler, iri kil boyutlu taneler arasındaki boşluklar ise daha ince kil boyutlu taneler tarafından doldurulmuş ise zeminin en sıkı olduğu (yani boşluk oranının en az olduğu) durumda büzülme limitine ulaşılmış olur. Bu durum büzülme limitinin zeminin tane boyu dağılımına bağlı olduğunu göstermektedir (Sridharan ve Prakash 1998).

Sridharan ve Prakash (1998)'in yukarıda belirtilen bulgulardan ulaştıkları en önemli sonuç, zeminin optimum kil içeriği oranında en düşük büzülme limitine ulaşmasıdır. Bu durumda zeminin tane boyu küçüldükçe büzülme limiti azalabilir. Bir başka deyişle,

aynı zemine ait 200 numaralı elek altı malzemenin büzülme limitinin 40 numaralı elek altı malzemenin büzülme limitinden daha düşük olması beklenebilir.

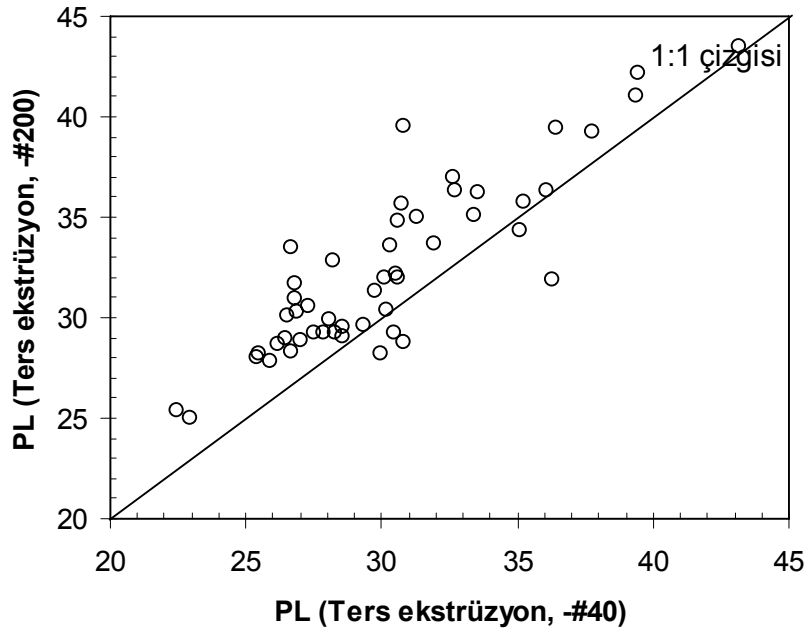


Şekil 5.5 Parafinli yöntem ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin SL dağılımları

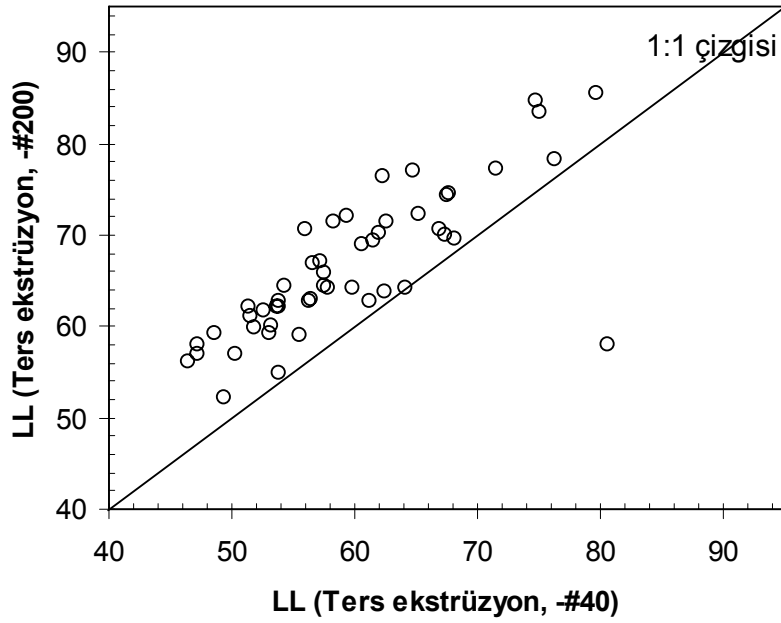
Ters ekstrüzyon deneyinden elde edilen sonuçların karşılaştırmalı grafikleri şekil 5.6 - 5.7'de verilmiştir. Bunların değişimleri ise çizelge 5.6 ve şekil 5.7'de gösterilmektedir.

Ters ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen plastik limitler incelendiğinde, tane boyu küçüldükçe 50 çift numunenin 45'inde plastik limitlerinin yükseldiği gözlenmiştir.

Ters ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen likit limitler incelendiğinde ise, tane boyu küçüldükçe 50 çift numunenin 48'inde likit limitlerinin yükseldiği gözlenmiştir. Ters ekstrüzyon deneyi sonucunda plastik limit ve likit limitlerde görülen azalmalar, ekstrüzyon deneyi sırasında meydana gelen sıkışmalara bağlı olarak ekstrüzyon basıncı değerlerinin yüksek okunmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.6 Ters ekstrüzyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin PL dağılımları



Şekil 5.7 Ters ekstrüzyon yöntemi ile 40 no.lu ve 200 no.lu elekten geçen zeminlerin LL dağılımları

Yapılan deneyler sonucunda, numuneler için belirlenmiş plastik limit, likit limit, plastisite indeksi ve USCS'ye göre belirlenmiş zemin sınıfları çizelge 5.8'de sunulmuştur. Burada literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerle belirlenen; yani plastik limit için elle yuvarlama deneyi sonuçları, likit limitleri içinse Casagrande aleti ile belirlenmiş likit limit deneyi sonuçları kullanılmıştır. Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi 50 çift zemin numunesinin 16'sında tane boyuna bağlı olarak kıvam limitlerinin değişmesi sonucu zemin sınıflarında değişim gözlenmiştir. Bu değişimler Şekil 5.8 – 5.12'de Casagrande diyagramı üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Tane boyuna bağlı olarak ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik limit deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	PL	Zemin No.	PL	
01	30,8	51	35,7	16,1
02	26,8	52	30,9	15,5
03	32,6	53	37,0	13,4
04	28,6	54	29,5	3,3
05	36,4	55	39,4	8,2
06	36,1	56	36,3	0,6
07	37,8	57	39,2	3,9
08	30,1	58	32,0	6,2
09	35,1	59	34,3	-2,3
10	35,2	60	35,8	1,6
11	36,3	61	31,9	-12,1
12	22,5	62	25,4	13,1
13	26,7	63	28,3	6,0
14	43,2	64	43,5	0,7
15	39,4	65	41,0	4,1
16	30,8	66	39,5	28,3
17	27,5	67	29,2	6,1
18	33,4	68	35,1	5,1
19	30,5	69	32,2	5,6
20	25,5	70	28,2	10,7
21	26,5	71	30,1	13,6
22	30,2	72	30,4	0,7
23	30,6	73	32,0	4,6
24	26,7	74	33,5	25,5
25	29,4	75	29,6	0,8
26	28,2	76	32,9	16,5
27	30,5	77	29,3	-3,9
28	28,1	78	29,9	6,4
29	32,7	79	36,3	11,1
30	27,0	80	28,9	7,0
31	30,6	81	34,8	13,7
32	25,9	82	27,8	7,3
33	29,7	83	31,3	5,4
34	23,0	84	25,0	9,1
35	28,6	85	29,1	1,6
36	26,5	86	29,0	9,4
37	30,0	87	28,2	-6,1
38	32,0	88	33,7	5,5
39	27,9	89	29,3	4,9
40	27,3	90	30,6	12,3
41	39,5	91	42,2	6,9
42	30,8	92	28,8	-6,5
43	33,6	93	36,2	7,8
44	25,4	94	28,0	10,2
45	26,8	95	31,7	18,2
46	26,9	96	30,3	12,6
47	28,3	97	29,3	3,4
48	30,3	98	33,6	10,8
49	31,3	99	35,0	12,0
50	26,2	100	28,7	9,6

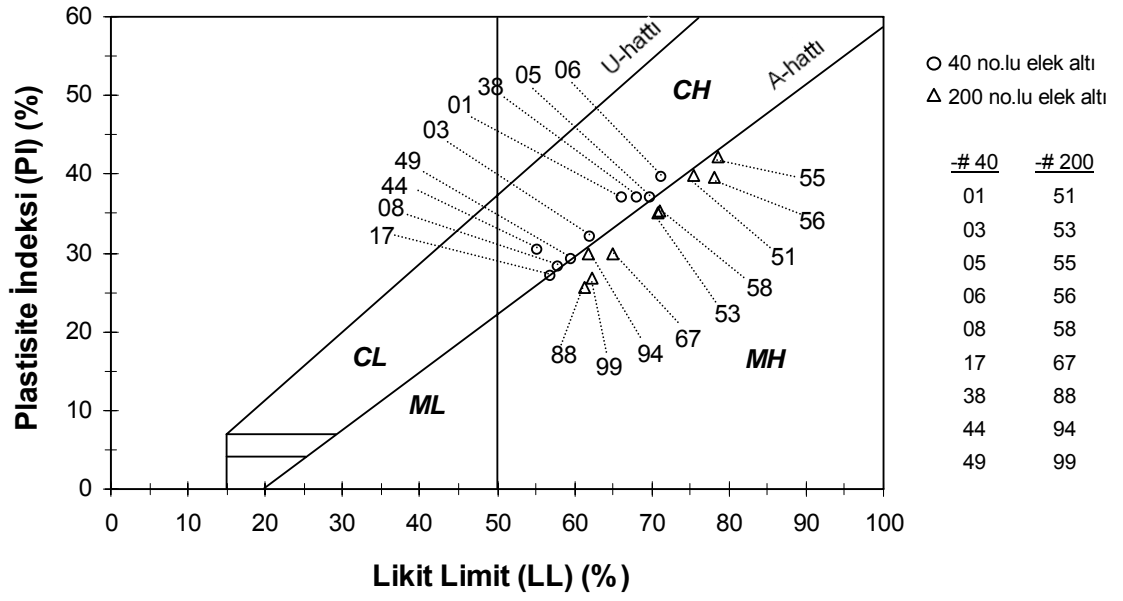
Çizelge 5.7 Tane boyuna bağlı olarak ters ekstrüzyon yöntemi ile likit limit deneyi sonuçları

40 numaralı elek altı		200 numaralı elek altı		Değişim (%)
Zemin No.	LL	Zemin No.	LL	
01	64,8	51	77,1	19,1
02	57,6	52	64,3	11,7
03	62,6	53	71,5	14,1
04	56,3	54	62,7	11,4
05	71,6	55	77,2	7,8
06	76,3	56	78,2	2,5
07	79,8	57	85,4	7,1
08	59,4	58	72,0	21,2
09	68,2	59	69,6	2,1
10	74,8	60	84,7	13,2
11	80,7	61	58,0	-28,1
12	51,5	62	62,1	20,7
13	62,3	63	76,3	22,5
14	75,2	64	83,4	10,9
15	67,6	65	74,3	9,9
16	67,4	66	69,9	3,7
17	59,9	67	64,2	7,1
18	53,9	68	54,8	1,7
19	53,2	69	60,1	13,0
20	55,5	70	59,1	6,5
21	51,5	71	61,1	18,6
22	61,3	72	62,8	2,4
23	62,1	73	70,1	12,9
24	47,2	74	58,0	22,9
25	62,6	75	63,8	2,0
26	48,7	76	59,3	21,7
27	60,7	77	68,9	13,5
28	57,9	78	64,1	10,7
29	65,2	79	72,3	10,9
30	51,8	80	59,8	15,4
31	54,4	81	64,4	18,4
32	56,0	82	70,7	26,2
33	58,3	83	71,4	22,4
34	49,4	84	52,3	6,0
35	57,2	85	67,1	17,3
36	46,5	86	56,2	20,9
37	67,0	87	70,6	5,4
38	56,5	88	63,0	11,5
39	57,5	89	65,9	14,5
40	47,2	90	57,0	20,8
41	67,8	91	74,5	9,9
42	64,2	92	64,2	0,0
43	61,6	93	69,3	12,5
44	53,8	94	62,2	15,6
45	52,6	95	61,6	17,2
46	50,3	96	56,9	13,1
47	53,1	97	59,2	11,5
48	53,9	98	62,8	16,5
49	56,7	99	66,8	17,9
50	53,7	100	62,1	15,6

Çizelge 5.8 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limitleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları (Casagrande aleti ile LL ve elle yuvarlama ile PL deneyleri sonuçlarına göre)

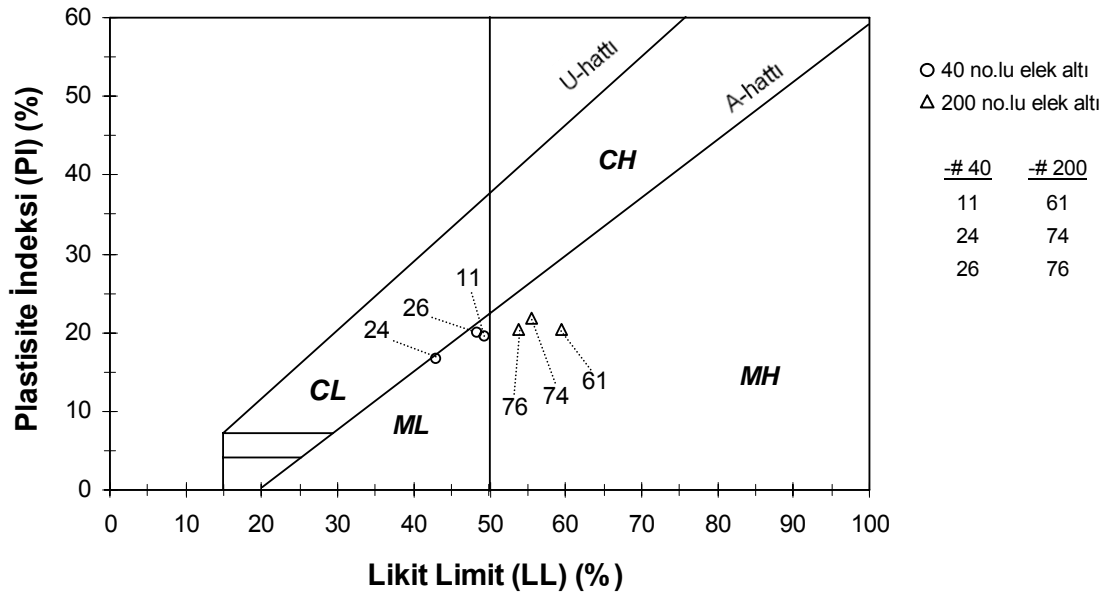
40 numaralı elek altı					200 numaralı elek altı				
Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı	Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı
* 01	29,3	66,3	37,0	CH	* 51	35,6	75,5	39,9	MH
02	24,4	57,1	32,7	CH	52	31,6	66,7	35,1	CH
* 03	30,0	62,0	32,0	CH	* 53	35,8	70,8	35,0	MH
04	25,6	54,5	28,9	CH	54	31,5	63,7	32,2	CH
* 05	32,9	69,8	36,9	CH	* 55	36,5	78,6	42,1	MH
* 06	31,8	71,4	39,6	CH	* 56	38,6	78,1	39,5	MH
07	33,9	79,0	45,1	CH	57	35,2	90,3	55,1	CH
* 08	29,6	57,8	28,2	CH	* 58	35,7	71,1	35,4	MH
09	33,3	73,9	40,6	CH	59	35,3	77,6	42,3	CH
10	33,1	75,0	41,9	CH	60	35,0	83,9	48,9	CH
* 11	29,8	49,3	19,5	ML	* 61	39,0	59,4	20,4	MH
12	24,3	57,4	33,1	CH	62	26,5	81,0	54,5	CH
13	26,6	69,2	42,6	CH	63	34,0	87,2	53,2	CH
14	40,3	71,0	30,7	MH	64	41,4	84,5	43,1	MH
15	39,1	66,3	27,2	MH	65	40,2	72,2	32,0	MH
16	41,3	60,6	19,3	MH	66	40,5	64,3	23,8	MH
* 17	29,9	57,0	27,1	CH	* 67	35,0	65,0	30,0	MH
18	33,4	53,7	20,3	MH	68	36,3	55,1	18,8	MH
19	30,5	52,6	22,1	MH	69	30,8	58,9	28,1	MH
20	25,0	53,1	28,1	CH	70	27,3	64,3	37,0	CH
21	24,8	50,3	25,5	CH	71	30,1	61,5	31,4	CH
22	29,9	61,0	31,1	CH	72	30,2	64,9	34,7	CH
23	28,8	56,3	27,5	CH	73	31,2	71,4	40,2	CH
* 24	26,2	42,9	16,7	ML	* 74	33,7	55,6	21,9	MH
25	27,2	65,2	38,0	CH	75	27,6	67,8	40,2	CH
* 26	28,6	48,5	19,9	ML	* 76	33,3	53,8	20,5	MH
27	29,6	74,4	44,8	CH	77	32,0	75,9	43,9	CH
28	25,3	57,4	32,1	CH	78	30,5	65,0	34,5	CH
29	33,8	65,2	31,4	MH	79	40,0	67,9	27,9	MH
30	25,4	53,3	27,9	CH	80	27,8	55,9	28,1	CH
31	30,9	54,6	23,7	MH	81	34,0	61,5	27,5	MH
32	24,2	58,5	34,3	CH	82	29,4	70,2	40,8	CH
33	29,2	69,0	39,8	CH	83	30,2	71,8	41,6	CH
34	21,9	54,6	32,7	CH	84	25,2	51,9	26,7	CH
35	29,2	57,4	28,2	CH	85	27,8	62,2	34,4	CH
* 36	25,5	47,8	22,3	CL	* 86	28,1	46,4	18,3	ML
37	26,5	77,1	50,6	CH	87	29,1	78,4	49,3	CH
* 38	31,2	68,2	37,0	CH	* 88	35,9	61,4	25,5	MH
39	24,0	62,7	38,7	CH	89	29,9	62,8	32,9	CH
* 40	25,0	47,7	22,7	CL	* 90	31,3	54,4	23,1	MH
41	37,1	67,3	30,2	MH	91	43,8	70,2	26,4	MH
42	27,3	68,6	41,3	CH	92	30,8	68,0	37,2	CH
43	37,0	57,9	20,9	MH	93	36,6	64,1	27,5	MH
* 44	25,0	55,3	30,3	CH	* 94	32,0	61,9	29,9	MH
* 45	29,8	54,0	24,2	MH	* 95	30,7	65,1	34,4	CH
* 46	26,1	49,8	23,7	CL	* 96	32,3	52,6	20,3	MH
47	28,5	57,4	28,9	CH	97	30,5	60,7	30,2	CH
48	30,1	54,6	24,5	MH	98	33,2	60,2	27,0	MH
* 49	30,3	59,5	29,2	CH	* 99	35,3	62,2	26,9	MH
50	24,2	55,9	31,7	CH	100	30,3	61,7	31,4	CH

* ile işaretlenenler zemin sınıfında değişiklik görülen zemin numuneleridir.



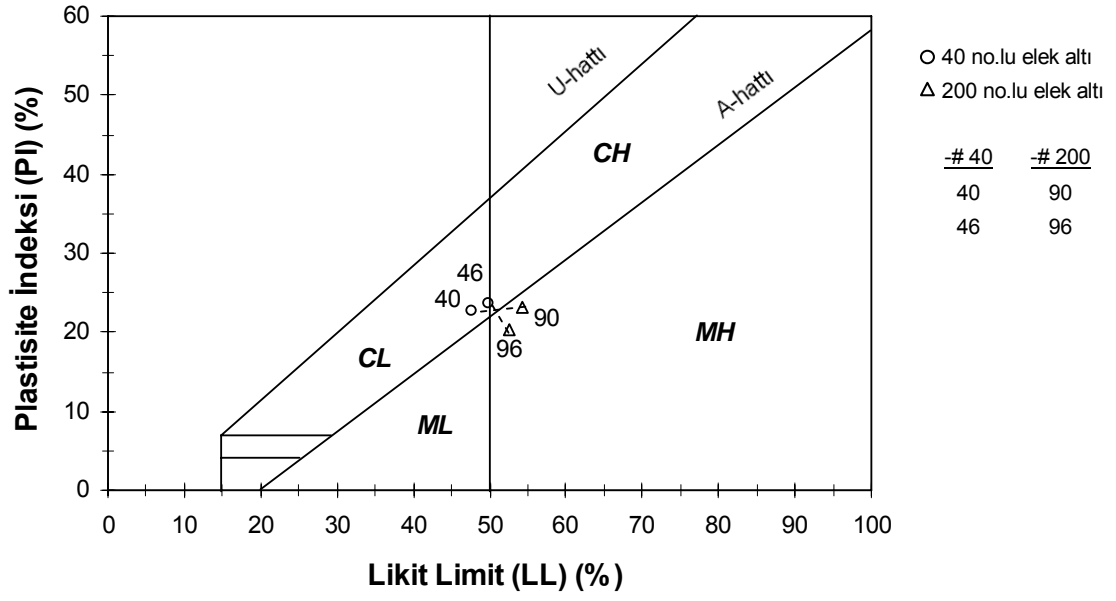
Şekil 5.8 Zemin sınıfı CH'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.

Grafiğin yanındaki tabloda aynı zemine ait 40 no.lu elek altı ve 200 no.lu elek altı numunelerin numaraları gösterilmiştir.



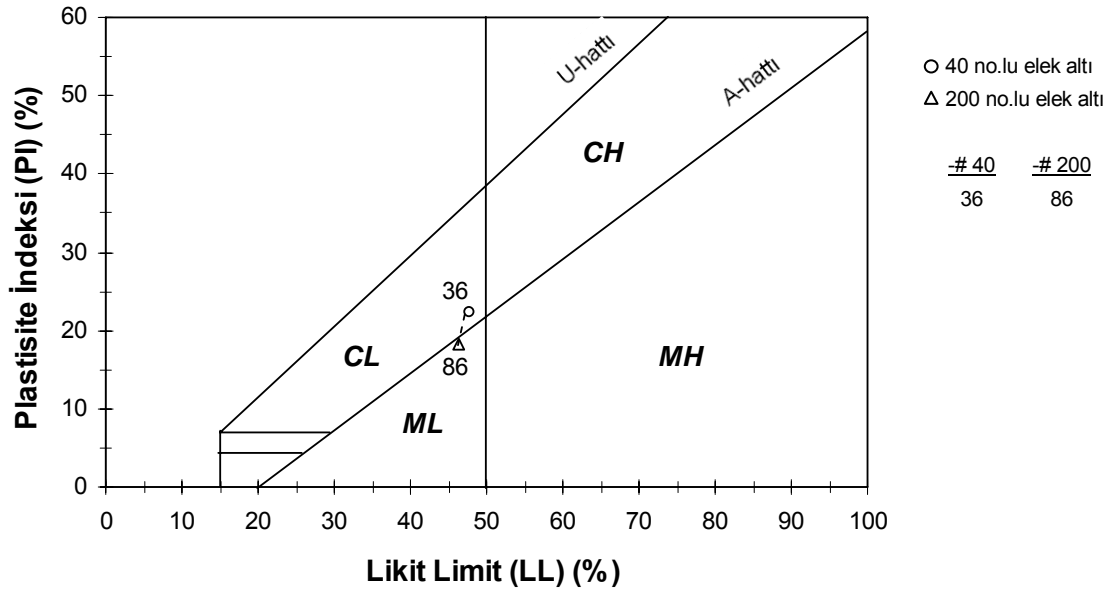
Şekil 5.9 Zemin sınıfı ML'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.

Grafiğin yanındaki tabloda aynı zemine ait 40 no.lu elek altı ve 200 no.lu elek altı numunelerin numaraları gösterilmiştir.



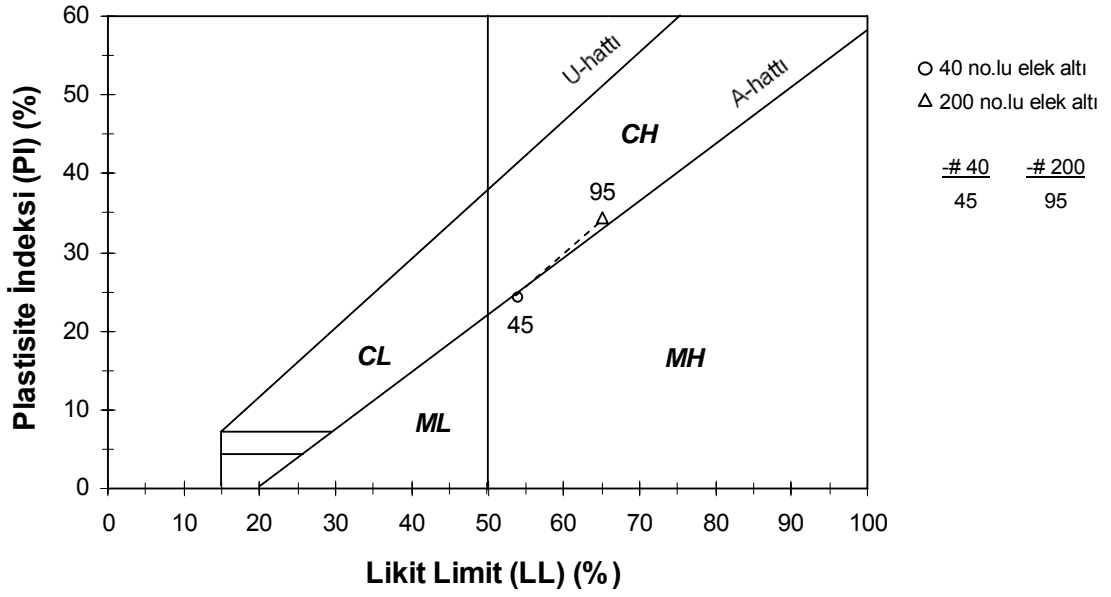
Şekil 5.10 Zemin sınıfı CL'den MH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi

Grafiğin yanındaki tabloda aynı zemine ait 40 no.lu elek altı ve 200 no.lu elek altı numunelerin numaraları gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Zemin sınıfı CL'den ML'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.

Grafiğin yanındaki tabloda aynı zemine ait 40 no.lu elek altı ve 200 no.lu elek altı numunelerin numaraları gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Zemin sınıfı MH'den CH'ye geçen zemin numunelerinin Casagrande diyagramı üzerinde gösterimi.

Grafiğin yanındaki tabloda aynı zemine ait 40 no.lu elek altı ve 200 no.lu elek altı numunelerin numaraları gösterilmiştir.

Zemin sınıfı, mühendislik uygulamalarında zeminle ilgili ilk izlenimlerin edinileceği parametredir. Mühendislik yapılarının projelerinin hazırlanmasında başka deney prosedürleri uygulanacak olsa da, zemin sınıfının yanlış belirlenmesi gerek projelendirme aşamasında gerekse yapım ve yapım sonrasında sorunlara yol açabilecektir.

Yüksek plastisiteli malzemelerin su içerikleri farklılaştıkça ciddi hacimsel değişimler gösterdiklerinden, çoğu durumda yapı malzemesi olarak kullanılmalarından kaçınılır. Doygun ve sıkıştırılmış haldeyken yüksek plastisiteli zeminlerin kesme dayanımları düşük plastisiteli zeminlerin kesme dayanımlarına göre çok daha düşüktür. Yine doymuş ve sıkışmış durumdayken yüksek plastisiteli zeminlerin sıkışabilirlikleri düşük plastisiteli zeminlere göre daha yüksektir. Ayrıca zeminde bulunan suyun uzaklaştırılması siltlere göre killerde çok daha zordur. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda zemin sınıfının yanlış belirlenmesi gereksiz maliyet artışlarına yol

açabileceği gibi, yapım sonrasında da istenmeyen oturma, şişme, kayma gibi sorunlara da sebep olabilecektir.

Diğer deney yöntemleriyle elde edilen limit değerlerinin kullanılmasıyla zemin sınıflarında ne gibi değişiklikler olacağı çizelge 5.9 – 5.10’da incelenmiştir. Çizelge 5.9’da koni penetrasyon yöntemi ile bulunan likit limitler ve elle yuvarlama ile bulunan plastik limitler kullanılarak, çizelge 5.10’da ise ters ekstrüzyon yöntemi ile elde edilen plastik limit ve likit limitler kullanılarak belirlenen zemin sınıfları ve tane boyunun değişimiyle zemin sınıfında meydana gelen farklılaşmalar gösterilmektedir.

Literatürde en yaygın olarak kullanılan Casagrande aleti ile likit limit ve elle yuvarlama ile plastik limit tayini deneyleri ile belirlenen zemin sınıflarında tane boyu küçüldükçe 50 çift numuneden 16’sında değişim olduğu gözlenmiştir. Likit limitin belirlenmesinde Casagrande aleti yöntemine alternatif olarak kullanılan koni penetrasyon yöntemi ile bulunan likit limitler ve yine elle yuvarlama ile belirlenen plastik limitler kullanıldığında ise 50 çift zemin numunesinin 13 tanesinde tane boyunun küçülmesine bağlı olarak zemin sınıfı değişmiştir. Plastik limit ve likit limitin belirlenmesinde diğer bir yöntem olarak önerilen ters ekstrüzyon yöntemi ile belirlenen plastik limit ve likit limitlerle zemin sınıfları irdelendiğinde sınıf değişimi yine 50 çiftin 13 tanesinde gözlenmiştir. Meydana gelen değişimlerden 6 tanesi her üç karşılaştırmada da görülmektedir.

Çizelge 5.9 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limitleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları (Koni penetrasyonu ile LL ve elle yuvarlama ile PL deneyleri sonuçlarına göre)

40 numaralı elek altı					200 numaralı elek altı				
Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı	Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı
* 01	29,3	68,0	38,7	CH	* 51	35,6	77,1	41,5	MH
02	24,4	59,6	35,2	CH	52	31,6	69,2	37,6	CH
* 03	30,0	62,5	32,5	CH	* 53	35,8	73,3	37,5	MH
04	25,6	59,5	33,9	CH	54	31,5	65,9	34,4	CH
* 05	32,9	74,9	42,0	CH	* 55	36,5	80,3	43,8	MH
* 06	31,8	74,2	42,4	CH	* 56	38,6	80,3	41,7	MH
07	33,9	81,3	47,4	CH	57	35,2	91,1	55,9	CH
* 08	29,6	60,8	31,2	CH	* 58	35,7	73,0	37,3	MH
09	33,3	77,8	44,5	CH	59	35,3	79,1	43,8	CH
10	33,1	77,4	44,3	CH	60	35,0	85,0	50,0	CH
11	29,8	53,0	23,2	MH	61	39,0	62,3	23,3	MH
12	24,3	61,0	36,7	CH	62	26,5	82,8	56,3	CH
13	26,6	71,9	45,3	CH	63	34,0	88,4	54,4	CH
14	40,3	72,9	32,6	MH	64	41,4	87,3	45,9	MH
15	39,1	68,3	29,2	MH	65	40,2	75,3	35,1	MH
16	41,3	63,1	21,8	MH	66	40,5	66,8	26,3	MH
* 17	29,9	59,3	29,4	CH	* 67	35,0	67,2	32,2	MH
18	33,4	56,1	22,7	MH	68	36,3	57,8	21,5	MH
* 19	30,5	54,8	24,3	MH	* 69	30,8	61,1	30,3	CH
20	25,0	54,8	29,8	CH	70	27,3	66,8	39,5	CH
21	24,8	51,7	26,9	CH	71	30,1	64,0	33,9	CH
22	29,9	63,0	33,1	CH	72	30,2	66,5	36,3	CH
23	28,8	62,8	34,0	CH	73	31,2	73,9	42,7	CH
* 24	26,2	45,8	19,6	CL	* 74	33,7	58,3	24,6	MH
25	27,2	68,5	41,3	CH	75	27,6	69,8	42,2	CH
26	28,6	50,7	22,1	MH	76	33,3	57,7	24,4	MH
27	29,6	77,0	47,4	CH	77	32,0	79,0	47,0	CH
28	25,3	60,8	35,5	CH	78	30,5	67,2	36,7	CH
29	33,8	67,9	34,1	MH	79	40,0	69,7	29,7	MH
30	25,4	55,4	30,0	CH	80	27,8	58,7	30,9	CH
31	30,9	57,4	26,5	MH	81	34,0	64,1	30,1	MH
32	24,2	61,3	37,1	CH	82	29,4	72,4	43,0	CH
33	29,2	71,3	42,1	CH	83	30,2	74,3	44,1	CH
34	21,9	56,6	34,7	CH	84	25,2	53,9	28,7	CH
35	29,2	59,7	30,5	CH	85	27,8	64,9	37,1	CH
36	25,5	50,2	24,7	CH	86	28,1	51,8	23,7	CH
37	26,5	79,5	53,0	CH	87	29,1	80,7	51,6	CH
* 38	31,2	70,5	39,3	CH	* 88	35,9	63,6	27,7	MH
39	24,0	65,5	41,5	CH	89	29,9	64,7	34,8	CH
* 40	25,0	50,5	25,5	CH	* 90	31,3	56,8	25,5	MH
41	37,1	69,6	32,5	MH	91	43,8	72,3	28,5	MH
42	27,3	71,3	44,0	CH	92	30,8	69,8	39,0	CH
43	37,0	60,0	23,0	MH	93	36,6	65,8	29,2	MH
* 44	25,0	57,2	32,2	CH	* 94	32,0	64,3	32,3	MH
45	29,8	56,3	26,5	CH	95	30,7	67,3	36,6	CH
* 46	26,1	51,8	25,7	CH	* 96	32,3	54,8	22,5	MH
47	28,5	59,6	31,1	CH	97	30,5	62,7	32,2	CH
48	30,1	56,7	26,6	MH	98	33,2	62,5	29,3	MH
* 49	30,3	61,6	31,3	CH	* 99	35,3	64,8	29,5	MH
50	24,2	58,6	34,4	CH	100	30,3	64,3	34,0	CH

* ile işaretlenenler zemin sınıfında değişiklik görülen zemin numuneleridir.

Çizelge 5.10 Tane boyu değişimine bağlı olarak numunelerin kıvam limitleri ve USCS'ye göre zemin sınıfları (Ters ekstrüzyon yöntemi ile PL ve LL sonuçlarına göre)

40 numaralı elek altı					200 numaralı elek altı				
Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı	Zemin No.	PL	LL	PI	USCS Sınıfı
* 01	30,8	64,8	34,0	CH	* 51	35,7	77,1	41,4	MH
02	26,8	57,6	30,8	CH	52	30,9	64,3	33,4	CH
03	32,6	62,6	30,0	MH	53	37,0	71,5	34,5	MH
04	28,6	56,3	27,7	CH	54	29,5	62,7	33,2	CH
05	36,4	71,6	35,2	MH	55	39,4	77,2	37,8	MH
06	36,1	76,3	40,2	MH	56	36,3	78,2	41,9	MH
07	37,8	79,8	42,0	MH	57	39,2	85,4	46,2	MH
08	30,1	59,4	29,3	CH	58	32,0	72,0	40,0	CH
09	35,1	68,2	33,1	MH	59	34,3	69,6	35,3	MH
* 10	35,2	74,8	39,6	MH	* 60	35,8	84,7	48,9	CH
* 11	36,3	80,7	44,4	CH	* 61	31,9	58,0	26,1	MH
12	22,5	51,5	29,0	CH	62	25,4	62,1	36,7	CH
13	26,7	62,3	35,6	CH	63	28,3	76,3	48,0	CH
14	43,2	75,2	32,0	MH	64	43,5	83,4	39,9	MH
15	39,4	67,6	28,2	MH	65	41,0	74,3	33,3	MH
* 16	30,8	67,4	36,6	CH	* 66	39,5	69,9	30,4	MH
* 17	27,5	59,9	32,4	CH	* 67	29,2	64,2	35,0	CH
18	33,4	53,9	20,5	MH	68	35,1	54,8	19,7	MH
19	30,5	53,2	22,7	MH	69	32,2	60,1	27,9	MH
20	25,5	55,5	30,0	CH	70	28,2	59,1	30,9	CH
21	26,5	51,5	25,0	CH	71	30,1	61,1	31,0	CH
22	30,2	61,3	31,1	CH	72	30,4	62,8	32,4	CH
23	30,6	62,1	31,5	CH	73	32,0	70,1	38,1	CH
* 24	26,7	47,2	20,5	CL	* 74	33,5	58,0	24,5	MH
25	29,4	62,6	33,2	CH	75	29,6	63,8	34,2	CH
* 26	28,2	48,7	20,5	ML	* 76	32,9	59,3	26,4	MH
27	30,5	60,7	30,2	CH	77	29,3	68,9	39,6	CH
28	28,1	57,9	29,8	CH	78	29,9	64,1	34,2	CH
29	32,7	65,2	32,5	MH	79	36,3	72,3	36,0	MH
30	27,0	51,8	24,8	CH	80	28,9	59,8	30,9	CH
31	30,6	54,4	23,8	MH	81	34,8	64,4	29,6	MH
32	25,9	56,0	30,1	CH	82	27,8	70,7	42,9	CH
33	29,7	58,3	28,6	CH	83	31,3	71,4	40,1	CH
* 34	23,0	49,4	26,4	CL	* 84	25,0	52,3	27,3	CH
35	28,6	57,2	28,6	CH	85	29,1	67,1	38,0	CH
* 36	26,5	46,5	20,0	CL	* 86	29,0	56,2	27,2	CH
37	30,0	67,0	37,0	CH	87	28,2	70,6	42,4	CH
* 38	32,0	56,5	24,5	MH	* 88	33,7	63,0	29,3	MH
39	27,9	57,5	29,6	CH	89	29,3	65,9	36,6	CH
* 40	27,3	47,2	19,9	CL	* 90	30,6	57,0	26,4	MH
41	39,5	67,8	28,3	MH	91	42,2	74,5	32,3	MH
42	30,8	64,2	33,4	CH	92	28,8	64,2	35,4	CH
43	33,6	61,6	28,0	MH	93	36,2	69,3	33,1	MH
44	25,4	53,8	28,4	CH	94	28,0	62,2	34,2	CH
* 45	26,8	52,6	25,8	CH	* 95	31,7	61,6	29,9	MH
* 46	26,9	50,3	23,4	CH	* 96	30,3	56,9	26,6	MH
47	28,3	53,1	24,8	CH	97	29,3	59,2	29,9	CH
48	30,3	53,9	23,6	MH	98	33,6	62,8	29,2	MH
49	31,3	56,7	25,4	MH	99	35,0	66,8	31,8	MH
50	26,2	53,7	27,5	CH	100	28,7	62,1	33,4	CH

* ile işaretlenenler zemin sınıfında değişiklik görülen zemin numuneleridir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şöyledir:

1. Elle yuvarlama deneyi ile plastik limit tayini deneyi sonuçlarında; 50 çift zemin örneğinin 47'sinde, zeminlerin 200 numaralı elek altında kalan numunelerinin plastik limitleri 40 numaralı elek altında kalan numunelerin plastik limitlerinden daha yüksek olmuştur. Bu artış oranları %1,0 - %30,9 aralığında değişmektedir.
2. Casagrande aleti ile likit limit deneyi ve koni penetrasyon yöntemi ile likit limit deneyleri sonucunda elde edilen likit limitleri incelendiğinde; 50 çift zemin örneğinin 46'sında, zeminlerin 200 numaralı elek altında kalan numunelerinin likit limitleri 40 numaralı elek altında kalan numunelerin likit limitlerinden daha yüksek olmuştur. Bu artış oranları %0,2 ile %41,1 aralığında değişkenlik göstermektedir.
3. Ters ekstrüzyon yöntemi ile elde edilen plastik limitlerinde 45 çift zemin numunesinde %0,6 ile %28,3 arasında oranlarda artışlar gözlenmiştir. Aynı şekilde ters ekstrüzyon yöntemi kullanılarak elde edilen likit limitlerinde ise 48 çift zemin numunesinde %2,0 ile %26,2 arasında değişen oranlarda artışlar gözlenmiştir.
4. Cıvalı yöntem ve parafinli yöntem ile elde edilen büzülme limitlerinde ise değişimin kesin bir davranışı gözlenmemiştir. Numunelerin bir kısmında değişim artış olarak gözlenirken, diğer kısmında azalış gözlenmiştir. Bu durum, büzülme limitinin zeminlerin plastiklik özellikleri yerine tane boyu dağılımı tarafından kontrol edildiğini doğrular niteliktedir.
5. Aynı kıvam limitini veren deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında (plastik limit için; elle yuvarlama – ters ekstrüzyon, likit limit için; casagrande – koni penetrasyon, casagrande – ters ekstrüzyon ve koni penetrasyon – ters ekstrüzyon, büzülme limiti için; cıvalı – parafinli); likit limit ve plastik limitin belirlenmesi için kullanılan deney yöntemlerinin sonuçları arasındaki değişimin %0 ile %10 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Büzülme limitinde bu aralık daha geniş olmuş ve %0 - %25 olarak gerçekleşmiştir. Burada dikkat edilecek bir diğer nokta ise, koni penetrasyon yöntemi ile elde edilen likit limitlerin Casagrande yöntemi ile elde edilen likit limitlere göre istisnasız her numune için daha yüksek olmasıdır.

6. Literatürde en çok kullanılan Casagrande aleti ile likit limit ve elle yuvarlama ile plastik limit sonuçları kullanıldığında; kıvam limitlerindeki değişime bağlı olarak özellikle sınır durumundaki 16 zeminin USCS sınıfında değişim gözlenmiştir. Bu zeminlerden 9 tanesinin sınıfı CH'den MH'ye, 3 tanesinin sınıfı ML'den MH'ye, 2 tanesinin sınıfı CL'den MH'ye, 1 tanesinin sınıfı CL'den ML'ye, 1 tanesinin sınıfı ise MH'den CH'ye geçmiştir.
7. Zemin sınıflarının özellikle zeminin plastiklik derecesinin yanlış belirlenmesi mühendislik uygulamalarında ciddi sorunlara yol açabilecektir.
8. Alternatif yöntemlerle belirlenen kıvam limitleri kullanıldığında zemin sınıfı değişimlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Koni penetrasyon ile likit limit - elle yuvarlama ile plastik limit sonuçları ve ters ekstrüzyon yöntemi ile plastik ve likit limit sonuçları kullanılarak zemin sınıfları tekrar belirlenmiş, iki durumda da 50 çiftin 13'ünün zemin sınıfı değişim göstermiştir. Zemin sınıfı değişimlerinin 6 tanesi her üç durumda da görülmüştür.
9. Aynı zemine ait 40 numaralı elek altı malzeme ile 200 numaralı elek altı malzemelerin likit limit ve plastik limitleri arasında karşılaştırma yapıldığında, 200 numaralı elek altı malzemenin likit limit veya plastik limitinin 40 numaralı malzemenin limitlerinden daha yüksek olmasının nedeni özgül yüzeydeki artıştır.
10. İnce taneli zeminlerin sınıflandırılması Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi'ne (USCS) göre 200 numaralı elek altı malzeme üzerinde yapılmaktadır. Diğer taraftan, Casagrande diyagramında silt veya kil olarak tanımlanan ince taneli zeminler için yapılan likit limit ve plastik limit deneylerinde 40 numaralı elek altı malzeme kullanılmakta; deney malzemesi içinde bazı durumlarda yüksek sayılabilecek miktarlarda kum bulunmaktadır. Bu durumun, ince taneli zemin sınıflaması için bir çelişki oluşturduğu düşünülmektedir.
11. Elli çift zemin numunesi üzerinde 40 numaralı elek altı ve 200 numaralı elek altı malzemelerin ayrı ayrı test edilmesiyle, 200 numaralı elek altı malzeme kullanılarak yapılan USCS sınıflamalarında, çalışmada kullanılan zeminlerin 40 numaralı elek altı malzemeye göre tanımlanan sınıflarının üçte birinin değiştiği gözlenmiştir. Bu tespitin daha geniş bir veri tabanı kullanılarak incelenmesinde yarar vardır.

KAYNAKLAR

- Anonymous 1998. ASTM D 427-98: Standard test method for shrinkage factors of soils by the mercury method. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.01, pp. 1-4.
- Anonymous 2000. ASTM D 4318-00: Standard test methods for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.01 pp. 1-14.
- Anonymous 2002. ASTM D 4943-02: Standard test method for shrinkage factors of soils by the wax method. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.01, pp. 1-5.
- Anonymous 2006. Türk Standardı 1900-1: Likit Limitin ve Plastik Limitin Tayini. Deneysel 2 (B) 14-24.
- Atterberg, A. 1911. Über die Physikalische Bodenuntersuchung, and über die Plastizität der Tone. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, Vol. 1, pp. 10-43, Berlin.
- Balcı, M. C. 2011. İnce taneli zeminlerde tane boyu değişiminin zemin sınıflaması üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi, 61 sayfa, Ankara.
- British Standard. 1990. BS 1377-2, Determination of the liquid limit. Methods of test for soils for civil engineering purposes, Part 2. Classification tests, pp. 6-8.
- Casagrande, A. 1932. Research on the Atterberg limits of soils. Pub. Roads, Vol. 13, pp. 121-130, 136.
- Gündüz, Z. ve Dağdeviren, U. 2009. Zeminlerin Kıvam Limitlerinin Ölçümünde Ortamdaki Kumların Değerlendirmeye Etkileri. İMO Teknik Dergi. s. 4701-4715. Yazı 308.
- Hansbo, S. 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. Proc. Royal Swed. Geot. Inst., Stockholm, Vol. 14.
- Holtz, R. D. and Kovacs, W. D. 1981. An introduction to geotechnical engineering. Prentice Hall, pp. 27, New Jersey, USA.
- Johnston, M. M. and Strohm, W. E. 1968. Results of second division laboratory testing program on standard soil samples. Misc. Paper no. 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Karlson, R. 1977. Consistency limits. A manual for the performance and interpretation of laboratory investigations, Part 6. Swed. Council. Bldg. Res.
- Kayabalı, K. 2008. "Plastik Limit ve Likit Limit İçin Yeni Bir Yaklaşım", Geoteknik Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, 75-87, Adana.
- Kayabalı, K. and Tüfenkçi, O. O. 2010a. Determination of plastic and liquid limits using the reverse extrusion technique. Geotechnical Testing Journal, 33 No. 1, 14-22.
- Kayabalı K. and Tüfenkçi O. O. 2010b. Shear strength of remolded soils at consistency limits. Can. Geotech. J. Vol. 47: 259-266.

- Kumar, G. V. and Muir Wood, D. 1999. Fall cone and compression tests on clay–gravel mixtures. *Geotechnique* 49, No. 6, 727–739.
- Lee, L. T. and Freeman, R. B. 2007. An alternative test method for assessing consistency limits. *Geotech. Test. J.*, Vol. 30(4), pp. 1-8.
- Medhat, F. and Whyte, I. L. 1986. An appraisal of soil index tests. In *Engineering Geology Special Publication*, 1986. Vol. 2, pp. 317-353. Geological Society, London.
- Mesri, G. and Capeda-Diaz, A. F. 1986. Residual shear strength of clays and shales. *Geotechnique* 36. No. 2. 269–274.
- Önalp, A. 2009. Zeminlerin Kıvam Limitlerinin Ölçümünde Ortamdaki Kumların Değerlendirmeye Etkileri. *İMO Teknik Dergi*. s. 4817-4821. Yazı 315. Tartışma.
- Polidori, E. 2003. Proposal for a new plasticity chart: *Geotechnique*. Vol. 53(4), pp. 397-406.
- Seed, H. B., Woodward, R. J. and Lundgren, R. 1964. Fundamental aspects of the Atterberg limits. *J. Soil Mech. Found. Div. ASCE* 90, No. SM6. 75–105.
- Sharma, B. and Bora, P. K. 2003. Plastic limit, liquid limit and undrained shear strength of soil – reappraisal. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 129(8): 774-777.
- Sherwood, P. T. and Ryley, D. M. 1968. An extermination of cone-penetrometer methods for determining the liquid limits of soils. TRRL Crowthorne LR 233.
- Sridharan, A. and Prakash, K. 1998. Mechanism controlling the shrinkage limit of soils. *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, Vol. 21, No. 3, pp. 240 – 250.
- Tan, T.-S., Goh, T.-C., Karunaratne, G. P. and Lee, S.-L. 1994. Shear strength of very soft clay–sand mixtures. *Geotech. Test. J.* 17, No. 1, 27–34.
- Terzaghi, K. 1924. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley-Interscience, 3 Subedition.
- Terzaghi, K. 1926. Simplified soil tests for subgrades and their physical significance. *Public Roads*, Vol. 7, pp. 240-247.
- Timar, A. 1974. Testing the plastic properties of cohesive and intermediate-type soils by extrusion. *Acta. Tech. Ac. Sci. Hung.* 76 (3-4), 355-370.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geology*, Vol. 30, 377-392.
- Whyte, I. L. 1982. Soil plasticity and strength – A new approach for using extrusion. *Ground Eng.*, Vol. 15(1), pp. 16-24.
- Wroth, C. P. and Wood, D. M. 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Can. Geotech. J.*, Vol. 15(2), pp. 137-145.

EKLER

EK 1 Düşen Koni Deneyi Sonuçları

EK 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları

01		02		03		04	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
61,4	11,6	54,0	11,4	58,0	11,8	51,6	11,5
62,5	14,1	54,0	11,8	59,0	13,1	51,8	12,2
63,6	14,8	55,0	15,3	60,0	16,7	53,8	14,1
64,1	16,9	56,0	14,5	61,0	17,3	53,9	15,8
66,2	17,6	56,0	15,7	61,0	17,0	55,3	18,5
66,2	17,4	58,0	16,5	62,0	20,1	55,4	16,7
69,6	23,3	58,0	17,5	63,0	20,6	57,4	17,7
71,2	24,6	60,0	20,8	66,0	21,2	57,7	18,9
72,4	24,4	61,0	22,1	68,0	23,7	59,2	19,6
72,8	25,0	63,0	23,5	69,0	24,6	61,2	21,1
72,8	19,3	63,0	24,3	70,0	24,8	62,7	23,4
73,1	26,1					64,6	24,9
05		06		07		08	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
64,2	11,6	64,7	12,0	74,2	11,8	55,4	12,3
66,4	12,1	66,7	13,8	75,0	12,8	55,5	12,0
67,4	14,3	67,3	13,8	75,6	13,8	56,5	13,7
67,5	13,8	68,7	14,5	78,2	16,8	56,6	15,0
68,6	16,0	70,2	15,0	78,8	17,2	56,8	15,3
70,7	16,1	70,7	16,8	79,5	18,2	58,2	17,5
71,2	16,7	71,0	16,1	80,4	18,5	59,3	18,5
74,6	19,4	72,9	18,2	80,7	20,7	60,0	20,0
75,9	20,1	73,8	19,1	83,2	21,9	62,4	20,9
78,3	22,6	75,1	20,4	85,1	23,8	62,8	22,7
78,7	23,5	76,0	22,7	85,3	23,4	63,9	23,8
81,1	25,1	77,4	25,3	85,8	24,9	65,1	24,2
09		10		11		12	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
68,7	11,1	70,5	11,9	48,4	11,1	54,9	12,6
71,4	13,3	71,9	13,2	49,1	13,9	55,3	13,7
72,4	14,8	73,0	14,7	49,5	12,9	56,4	14,7
72,8	16,9	73,9	15,9	50,1	14,8	57,4	15,9
73,4	16,6	74,7	17,1	50,4	15,7	58,0	16,3
74,0	17,9	75,0	16,7	51,3	16,8	59,3	17,3
76,7	19,1	76,2	18,2	51,8	18,9	60,4	20,0
77,9	20,0	76,8	19,8	53,1	20,5	61,2	20,7
79,0	21,2	77,5	20,2	53,3	19,6	62,2	21,3
80,3	22,3	77,9	21,1	53,8	21,6	63,3	22,7
81,4	23,5	80,4	23,5	55,8	23,9	64,1	23,2
82,3	24,7	81,9	25,0	57,3	24,6	65,0	24,4

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

13		14		15		16	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
64,9	12,3	68,0	12,7	63,0	11,4	58,1	12,4
66,3	13,9	69,2	14,3	64,2	13,8	58,9	13,9
67,7	15,9	69,8	15,6	64,9	15,7	59,3	14,2
68,9	16,6	70,1	15,3	66,2	16,9	60,2	16,1
69,2	17,1	71,0	17,6	66,3	17,2	61,0	17,4
69,8	18,2	71,0	18,0	67,2	18,1	61,9	18,2
70,6	19,2	72,4	19,1	68,1	19,5	63,2	20,4
72,1	20,4	72,5	20,1	68,8	20,8	63,2	19,9
72,9	21,2	74,0	21,1	70,0	21,8	63,6	21,7
74,1	23,1	74,6	23,4	70,1	21,6	64,8	22,6
74,2	22,9	75,1	22,5	71,3	22,2	65,9	24,7
75,3	24,0	77,2	24,3	72,2	23,3	66,4	25,1
17		18		19		20	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
54,2	12,5	51,3	12,6	49,9	11,9	49,6	11,5
54,7	14,3	52,2	13,9	51,3	12,7	50,9	14,7
56,0	16,7	53,1	14,5	52,0	13,7	51,5	17,2
57,2	17,2	53,6	16,7	52,1	14,9	53,2	17,7
58,0	18,8	54,4	15,2	52,6	16,5	54,1	18,4
58,9	20,7	55,2	17,2	53,4	16,1	54,1	18,2
59,9	21,7	55,5	18,3	54,0	18,5	55,1	19,6
60,9	22,4	56,2	20,2	54,4	18,1	55,3	19,7
62,3	23,1	56,9	22,0	55,0	19,6	55,9	20,3
62,6	24,4	57,2	21,8	55,7	22,1	55,9	21,2
		58,1	24,9	55,7	21,7	56,7	24,1
		58,4	23,6	56,8	25,2	57,1	23,9
21		22		23		24	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
48,3	12,8	59,3	12,5	40,9	10,8	40,9	10,8
49,0	14,7	59,6	15,0	42,4	12,5	42,4	12,5
49,6	16,7	60,3	14,1	43,1	14,5	43,1	14,5
49,7	16,2	61,1	16,1	43,3	15,2	43,3	15,2
49,7	15,4	61,2	15,9	44,0	17,4	44,0	17,4
51,2	18,0	62,0	18,3	45,9	21,3	45,9	21,3
51,9	18,6	62,1	18,6	46,0	19,7	46,0	19,7
52,0	19,4	62,2	17,7	46,7	22,6	46,7	22,6
52,2	18,9	63,1	20,1	47,3	23,7	47,3	23,7
52,5	21,0	63,2	19,1	48,7	25,4	48,7	25,4
52,8	22,3	64,2	23,2				
53,8	24,9	64,3	22,6				

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

25		26		27		28	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
61,0	12,0	46,0	13,6	71,1	12,1	54,3	10,9
61,8	12,9	47,4	14,8	71,7	14,4	54,8	12,4
63,8	15,0	48,0	16,0	73,3	16,3	57,0	15,4
65,1	16,5	48,9	17,6	74,2	17,6	58,5	16,9
66,3	17,5	49,9	18,8	75,2	18,3	58,5	17,3
66,7	18,2	50,8	20,0	75,7	19,5	59,9	18,4
68,9	20,4	51,3	20,8	77,1	20,4	60,7	19,9
69,6	21,2	52,2	22,4	78,7	21,9	61,6	21,4
72,2	23,1	52,8	23,7	79,7	22,5	63,1	22,9
72,9	24,7	53,0	24,9	80,9	23,9	64,1	23,3
29		30		31		32	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
62,9	11,9	51,3	12,4	52,4	11,3	55,8	11,9
63,9	13,7	52,1	13,5	53,2	13,0	57,2	13,2
64,6	15,6	52,7	16,0	54,2	15,4	57,8	15,6
65,7	16,5	52,9	15,7	54,6	16,3	59,2	17,6
66,9	17,9	54,1	17,9	55,6	18,3	59,6	18,9
67,4	18,1	55,0	18,8	56,5	20,4	60,5	19,2
67,7	20,3	56,4	19,4	56,6	19,2	61,0	20,1
68,9	22,5	57,2	21,3	57,6	21,1	61,9	21,2
70,0	23,5	57,8	22,9	59,1	22,4	63,1	22,8
70,8	24,6	60,0	24,8	61,2	24,2	64,0	23,7
33		34		35		36	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
66,5	12,9	52,3	12,3	55,1	12,2	46,0	12,5
67,9	14,5	53,1	14,0	56,2	13,2	46,7	14,7
68,8	16,5	54,4	16,4	57,2	15,1	46,8	15,0
69,2	17,1	55,2	17,8	57,6	16,6	47,6	17,7
69,5	18,6	56,0	19,2	58,3	17,4	48,6	18,9
70,7	19,2	56,1	18,8	58,7	19,1	49,8	19,8
72,0	21,1	56,8	21,0	60,1	21,5	50,7	20,7
73,4	22,6	58,0	22,3	61,1	22,3	51,7	21,5
73,6	23,5	59,3	23,7	62,1	23,5	52,6	22,8
75,2	24,1	60,1	24,5	64,1	24,2	54,2	23,7

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

37		38		39		40	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
73,3	12,6	65,6	12,8	59,9	12,7	44,8	12,0
75,3	14,6	66,9	14,8	61,0	14,4	46,5	13,3
75,8	16,5	67,9	16,4	62,1	16,2	46,8	15,2
77,2	17,4	68,9	17,2	62,6	17,4	47,8	16,4
78,3	18,8	69,8	18,5	63,6	18,3	48,9	17,5
78,5	19,6	70,1	19,6	64,8	19,3	49,2	18,9
81,4	21,4	71,3	21,8	66,0	20,1	50,6	20,6
82,0	22,5	71,5	22,3	67,8	22,5	52,4	21,8
83,2	23,5	72,7	23,2	68,0	23,0	52,9	22,6
85,2	24,2	75,0	24,3	69,6	24,6	54,3	23,5
41		42		43		44	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
65,2	11,1	66,2	12,7	55,6	11,8	53,2	12,3
66,3	13,1	66,9	14,4	57,4	13,8	54,2	14,4
67,3	15,4	67,9	15,8	57,8	15,4	55,0	16,4
67,7	16,9	69,2	17,9	58,4	16,4	55,6	18,0
68,1	17,1	70,0	18,4	58,8	18,4	55,8	18,2
68,5	18,7	71,0	19,1	59,0	17,2	56,5	19,6
69,6	20,1	71,5	20,6	60,0	21,4	57,7	20,4
70,7	21,7	72,9	21,7	60,2	20,9	58,5	21,9
71,6	22,4	74,0	22,8	60,5	23,5	59,4	22,1
72,9	23,6	75,1	23,5	62,2	24,4	59,8	24,8
45		46		47		48	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
50,6	12,3	47,3	12,7	55,0	12,5	52,2	12,8
52,1	13,8	47,9	13,5	55,9	14,3	52,7	14,7
52,6	15,3	48,7	15,7	57,2	16,8	54,4	16,2
53,7	17,9	49,8	16,5	57,5	17,9	54,9	17,6
55,3	19,3	50,8	18,6	59,0	18,8	56,2	18,4
56,3	20,4	51,7	19,6	59,8	20,6	57,0	20,5
57,0	21,6	52,5	21,8	60,8	21,9	57,8	21,9
57,9	22,6	53,6	22,9	61,2	22,1	58,2	22,1
58,6	23,4	53,9	23,1	62,1	23,7	58,9	23,3
59,8	24,2	55,2	24,9	63,3	24,5	60,0	24,7

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

49		50		51		52	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
57,0	12,7	53,3	11,7	73,2	13,8	64,2	12,0
57,8	14,7	54,4	13,8	73,8	14,7	65,2	13,8
58,9	16,5	55,4	15,4	74,5	16,2	66,4	15,8
60,0	17,6	55,7	17,5	76,2	17,9	66,8	17,7
61,4	18,5	57,2	18,8	76,5	18,1	68,4	19,6
62,5	20,1	58,1	19,6	76,7	19,4	69,0	20,3
62,7	22,0	59,2	20,4	77,8	20,9	70,0	21,3
63,1	21,9	59,7	22,1	78,0	21,2	71,2	22,5
63,7	23,6	60,4	21,9	78,7	24,2	71,7	23,5
65,5	24,6	60,8	23,2	79,3	24,0	73,2	24,1
53		54		55		56	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
68,0	12,9	61,1	12,4	76,5	12,3	75,0	12,5
69,2	13,9	62,3	14,5	76,8	14,6	76,2	13,7
70,3	15,9	62,9	16,2	77,9	16,6	77,4	15,4
71,4	17,4	64,2	17,5	78,6	17,4	78,2	17,6
72,3	18,3	65,2	19,3	79,8	19,0	79,4	18,4
72,8	19,7	66,2	20,4	80,0	19,1	79,9	20,2
74,0	21,5	67,3	21,4	80,6	21,0	80,7	21,3
74,8	22,4	67,8	22,3	80,9	21,1	82,0	22,9
76,0	23,4	68,6	23,5	82,3	22,8	82,0	23,1
77,5	24,1	70,3	24,1	82,8	24,9	83,1	24,7
57		58		59		60	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
88,4	13,2	68,5	13,4	73,8	14,5	79,9	13,1
88,5	14,4	70,5	15,2	75,4	15,3	81,0	14,5
88,5	15,5	71,1	17,2	76,1	16,3	82,2	15,9
89,3	16,6	71,8	18,4	77,4	17,6	83,4	16,9
90,3	17,5	73,0	19,3	77,7	18,5	84,3	18,2
90,4	18,4	73,7	20,9	78,9	20,4	84,6	19,7
90,6	19,4	73,8	21,1	79,9	21,1	85,8	21,1
91,0	20,2	75,0	22,2	80,8	22,3	85,8	20,9
91,6	22,3	75,5	23,9	82,3	23,6	86,8	23,8
93,4	24,1	76,0	24,1	83,1	24,3	87,2	24,2

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

61		62		63		64	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
57,2	13,6	77,2	14,6	83,5	14,0	82,2	12,6
58,0	14,8	78,4	15,6	84,8	15,7	83,2	14,5
59,5	15,4	79,9	17,9	85,6	17,9	84,3	16,5
60,0	17,1	81,4	18,5	87,3	18,7	85,2	18,4
61,3	19,2	81,8	19,2	88,3	19,2	86,4	19,6
62,5	20,5	83,4	20,3	89,2	20,2	87,3	20,5
63,5	21,5	84,1	21,6	90,3	21,5	88,2	21,7
64,4	22,4	85,2	22,3	90,7	22,6	88,8	22,2
66,5	23,6	85,9	23,4	91,6	23,6	90,0	23,4
68,1	24,5	87,0	24,6	93,3	24,6	90,9	24,5
65		66		67		68	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
69,7	12,6	62,0	10,3	62,2	11,9	53,1	11,2
71,1	15,6	63,2	12,3	62,9	13,6	54,1	14,3
71,7	16,7	63,9	15,3	64,2	15,5	54,7	16,8
73,0	17,8	64,9	16,7	65,0	17,4	56,0	17,7
74,0	19,8	65,7	18,5	66,9	19,8	56,6	18,4
75,4	20,8	66,7	20,8	67,8	20,3	57,7	20,5
76,1	21,6	67,7	21,8	69,1	21,1	58,7	21,7
77,1	22,5	68,8	22,7	70,0	22,3	59,8	22,5
78,0	23,6	69,7	23,3	71,5	23,4	61,1	23,5
79,5	24,2	70,6	24,5	72,3	24,5	61,7	24,5
69		70		71		72	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
55,5	12,3	61,6	12,7	59,0	12,7	62,1	13,6
57,3	14,2	63,3	14,6	59,7	14,4	63,4	15,7
58,4	16,6	63,9	15,4	60,7	16,4	64,4	16,3
59,4	17,2	65,2	17,6	62,2	18,3	64,9	17,9
60,5	18,4	66,4	18,7	63,1	19,6	65,6	18,7
60,7	20,3	66,8	20,5	64,5	20,6	66,7	19,8
61,7	21,6	67,6	21,6	65,4	21,9	67,0	20,0
62,9	22,3	69,0	23,2	66,2	22,4	67,7	22,1
63,7	23,9	69,2	22,8	67,4	23,6	68,1	21,9
64,4	24,5	70,1	24,2	68,2	24,3	68,6	24,2

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

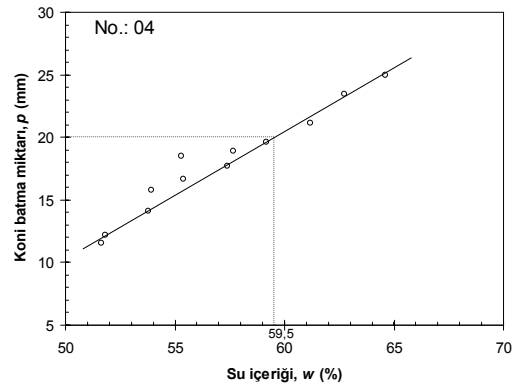
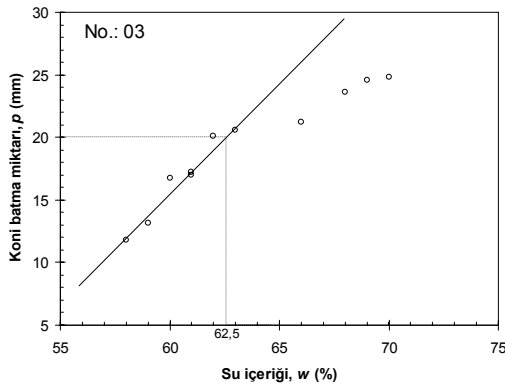
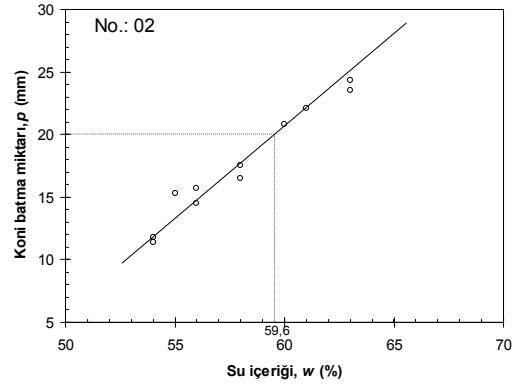
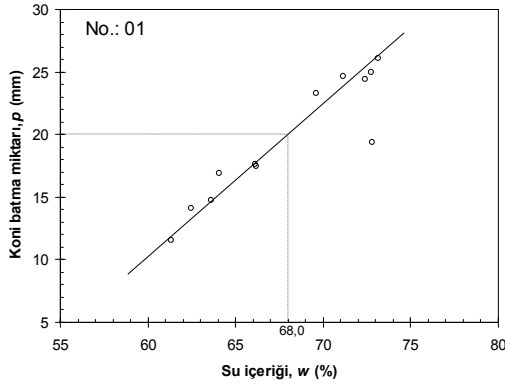
73		74		75		76	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
68,8	13,1	53,5	12,3	65,3	13,9	52,1	12,8
70,3	15,9	54,2	13,4	66,3	15,7	52,8	14,4
70,8	17,3	55,2	15,7	67,1	17,6	54,2	16,7
72,4	18,3	55,8	16,4	68,0	18,3	54,7	17,9
72,7	19,3	57,2	18,4	69,2	19,6	56,3	18,7
73,7	20,2	58,2	19,2	70,2	20,6	56,9	19,2
75,2	21,3	58,8	21,2	70,6	21,8	57,5	20,2
76,0	22,5	59,9	22,3	72,3	22,5	59,2	21,6
76,6	24,2	60,8	23,5	73,0	23,8	60,3	23,2
76,9	23,7	61,7	24,5	74,2	24,4	61,3	24,3
77		78		79		80	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
74,0	13,4	62,1	13,0	64,5	12,3	53,2	12,5
74,9	15,7	62,7	14,1	66,0	14,9	54,0	14,3
76,2	17,4	64,2	15,1	67,1	16,6	54,6	15,4
76,6	18,6	65,1	16,9	68,5	18,0	56,4	16,9
78,3	19,5	65,6	19,0	68,5	19,4	57,4	18,3
78,5	20,5	67,4	20,8	69,6	20,7	58,5	19,8
79,5	21,6	68,1	21,8	71,0	21,6	59,3	20,5
81,0	22,5	68,8	22,5	72,0	22,7	59,7	21,2
82,2	23,3	69,7	23,1	73,1	23,4	60,8	22,7
83,5	24,6	70,9	24,6	74,2	24,6	61,6	23,3
81		82		83		84	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
59,0	12,4	67,2	12,9	68,0	12,2	49,2	13,3
60,3	13,8	67,8	14,5	69,2	14,4	50,1	15,5
61,2	15,7	69,2	15,3	70,2	15,7	51,4	16,6
62,2	17,9	70,3	17,2	71,4	16,3	52,4	17,3
62,7	19,7	70,8	18,3	72,2	17,5	53,4	18,4
63,6	20,8	71,6	19,2	73,2	18,4	54,1	19,8
64,9	21,4	73,1	20,5	74,0	19,2	54,9	21,7
66,3	22,3	73,5	21,3	74,9	20,5	55,4	22,8
66,7	23,9	74,9	23,5	75,7	22,3	55,7	23,8
67,1	24,3	75,8	24,6	77,3	23,2	56,4	24,0

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

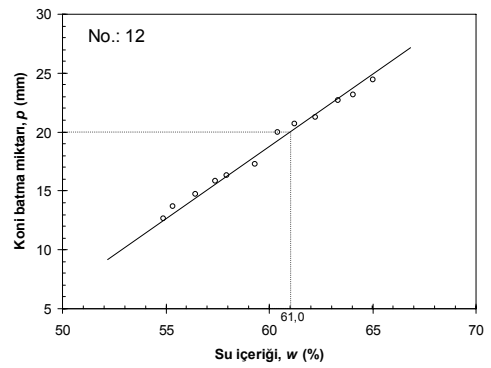
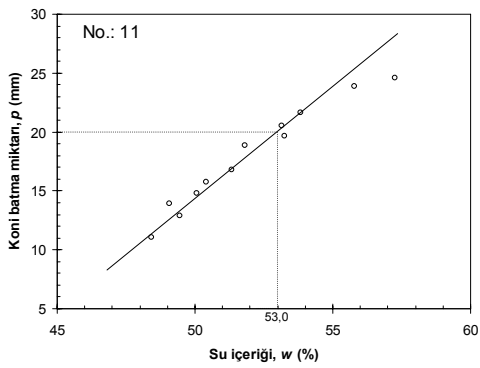
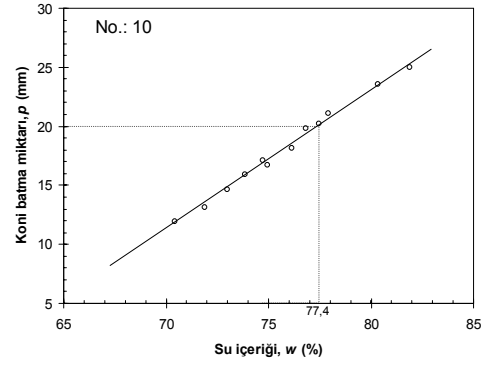
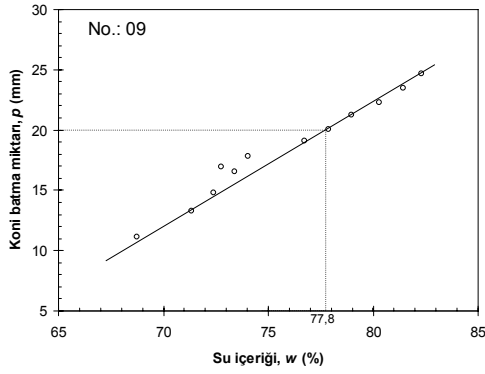
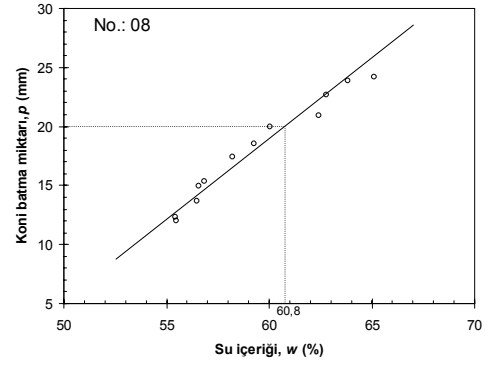
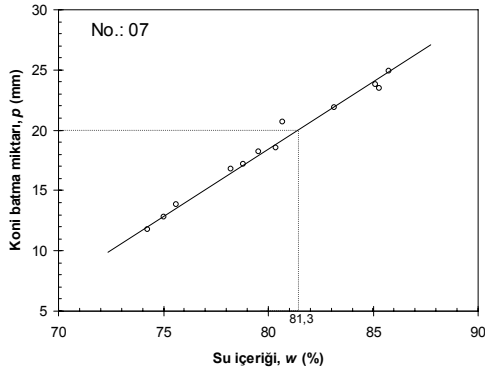
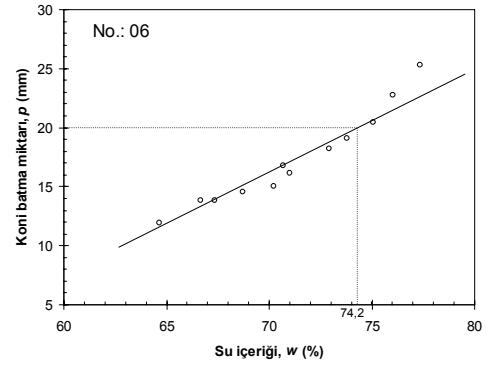
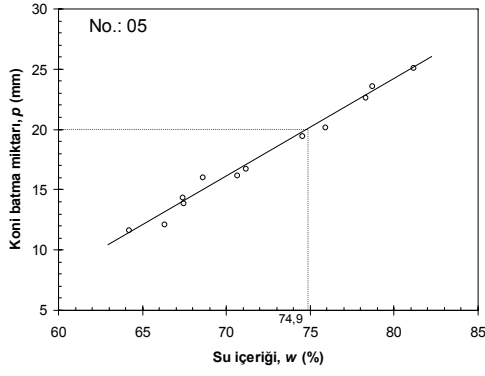
85		86		87		88	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
59,3	12,4	47,4	12,6	74,7	12,6	59,4	12,9
60,3	14,5	47,6	14,6	76,0	14,7	60,5	14,5
60,9	15,3	49,2	16,3	77,2	16,5	60,6	16,3
62,5	17,3	50,0	18,3	78,1	17,7	62,2	18,5
63,4	18,6	51,3	19,4	79,2	18,6	62,7	19,7
64,5	19,2	51,5	20,1	80,1	19,2	64,0	20,7
65,1	20,8	52,5	21,5	81,3	20,3	64,6	21,7
66,5	21,5	53,7	22,3	82,1	21,5	65,7	22,9
66,9	22,8	54,6	23,9	83,4	22,4	66,8	24,0
67,7	23,7	55,4	24,1	83,9	23,7	67,5	24,5
89		90		91		92	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
59,6	12,9	52,1	12,1	68,0	12,8	65,4	12,5
61,0	14,6	53,1	13,3	69,0	14,5	66,0	13,8
62,5	16,5	54,1	15,6	69,8	16,7	66,7	15,4
62,9	18,6	54,7	18,0	71,0	17,9	68,2	17,5
64,2	19,3	56,5	19,6	71,6	19,7	69,4	19,6
64,9	20,7	57,3	20,3	72,9	20,9	69,8	20,2
65,8	21,1	58,3	21,8	73,4	21,2	70,7	21,2
66,5	22,3	58,4	22,1	73,7	22,6	71,5	22,4
67,4	23,6	58,8	23,6	74,6	23,5	73,3	23,5
68,0	24,4	59,7	24,6	75,6	24,3	74,1	24,7
93		94		95		96	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
61,3	12,3	58,8	12,6	62,7	12,2	50,4	12,1
61,7	13,4	60,5	13,9	63,9	14,9	51,2	13,3
63,0	15,4	61,4	15,8	65,1	16,2	52,3	15,6
64,2	17,5	62,2	16,7	66,2	17,6	53,3	17,1
65,4	19,8	63,3	17,9	67,0	18,9	54,4	18,5
65,8	20,5	63,8	19,7	67,5	19,3	54,6	20,2
66,5	21,3	65,1	21,4	67,6	21,5	55,8	21,9
67,6	22,6	65,8	22,8	68,6	22,8	56,4	22,3
68,8	23,6	66,5	23,2	69,5	23,2	56,7	23,4
69,5	24,4	66,8	24,3	70,0	24,3	57,6	24,2

Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)

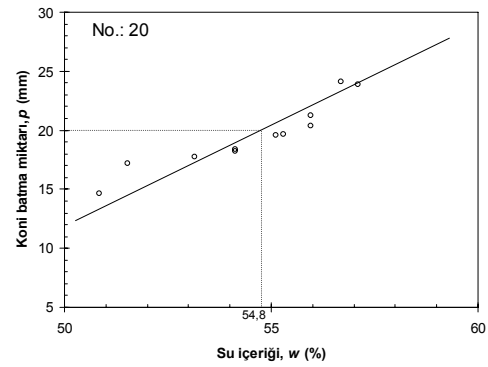
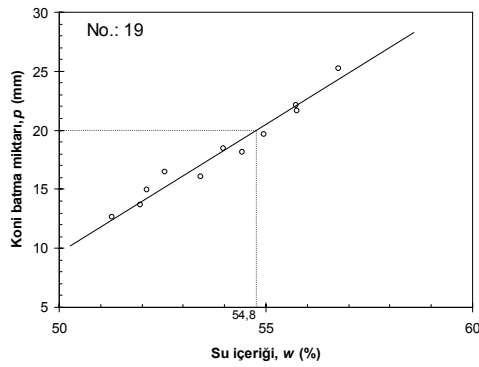
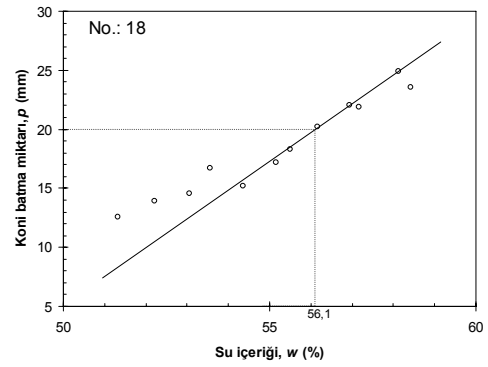
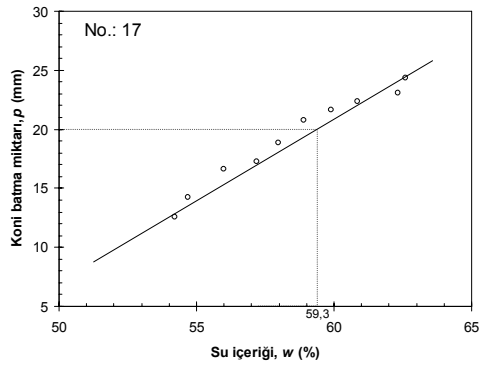
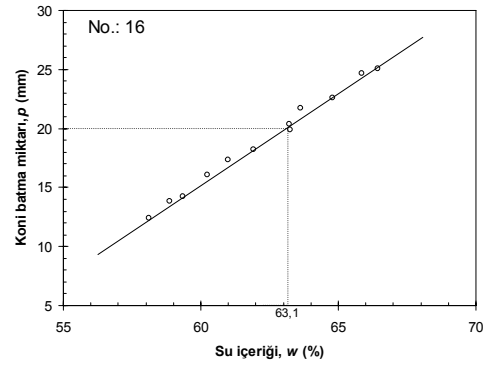
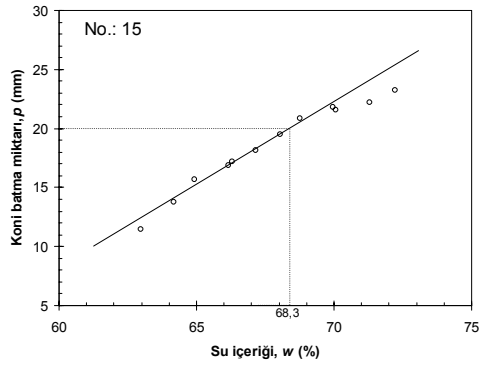
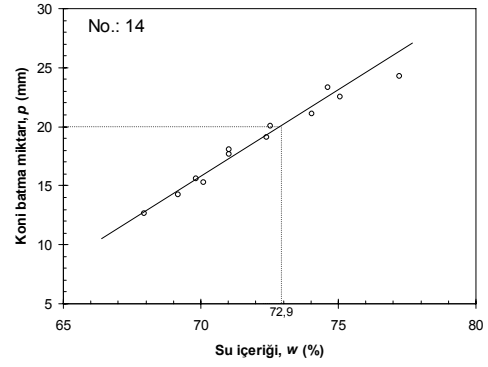
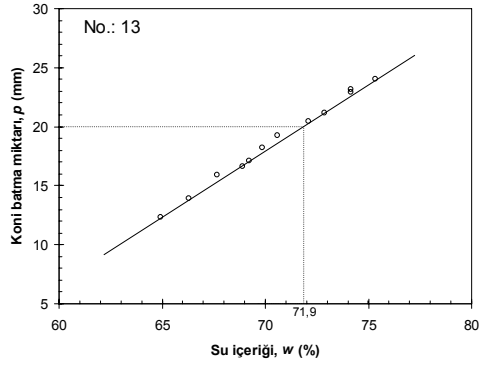
97		98		99		100	
w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)	w (%)	d (mm)
58,2	12,9	57,1	12,3	59,7	12,7	59,1	13,0
58,8	13,5	57,8	13,1	61,4	14,3	59,8	13,7
59,5	15,6	59,0	15,5	61,9	16,4	61,2	15,7
60,6	17,9	59,8	16,7	63,1	18,1	61,8	17,2
61,9	19,5	61,1	18,6	64,0	19,3	62,5	19,5
62,7	20,1	61,6	19,9	65,0	20,4	64,2	20,2
63,6	21,0	63,0	21,5	65,8	21,5	65,5	21,1
64,9	22,9	63,8	22,1	66,6	22,9	66,4	22,1
65,5	23,3	65,5	23,7	67,4	23,2	66,8	23,3
65,9	24,1	66,2	24,4	67,9	24,1	67,6	24,5



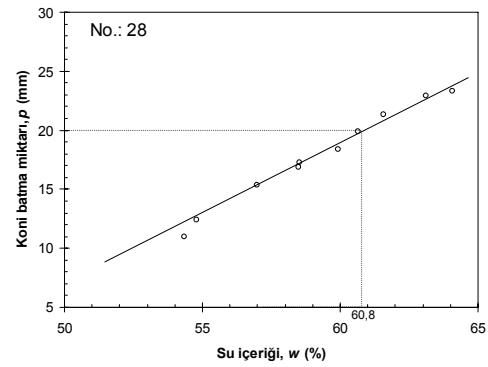
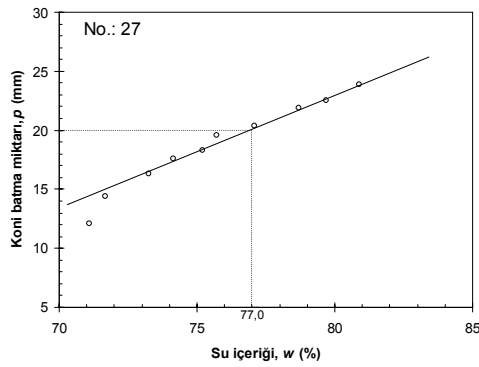
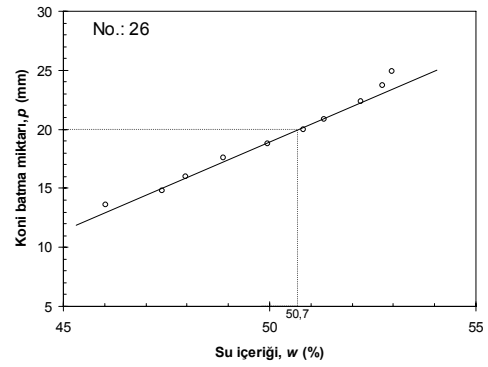
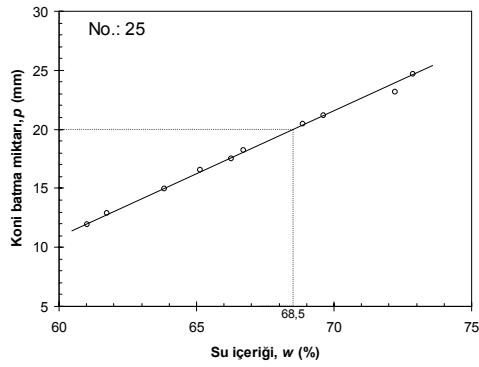
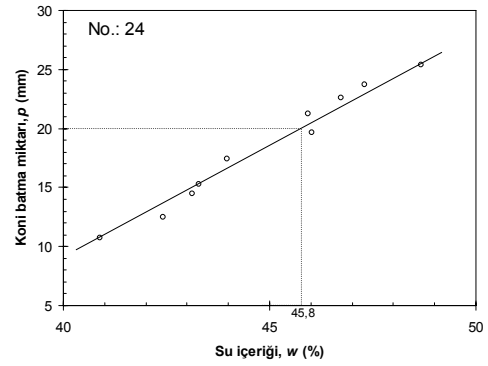
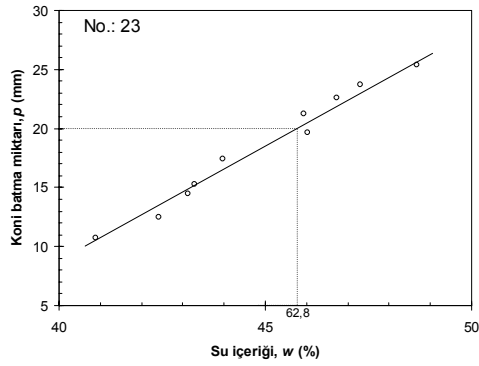
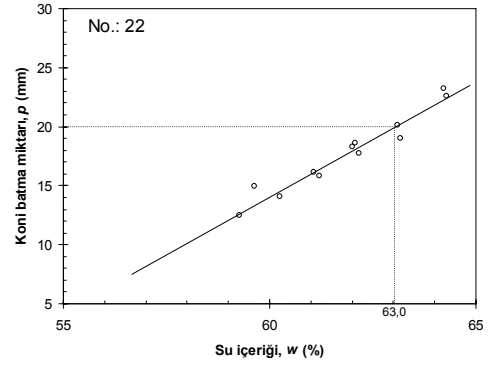
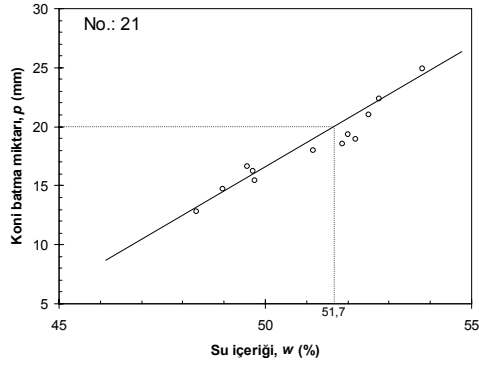
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



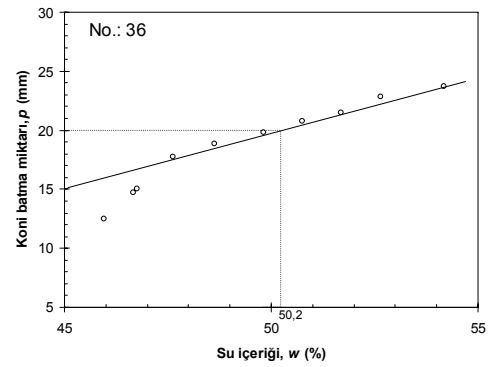
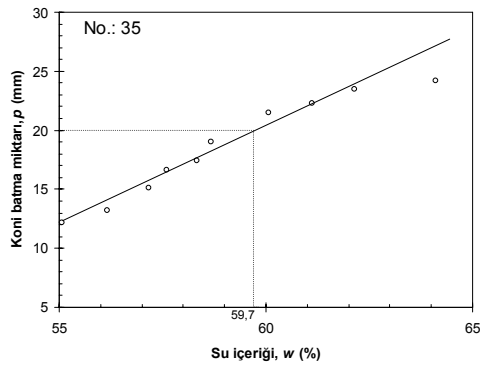
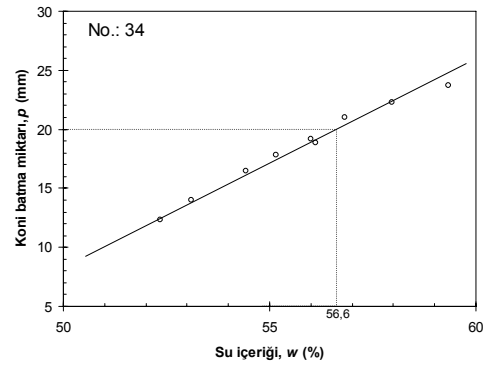
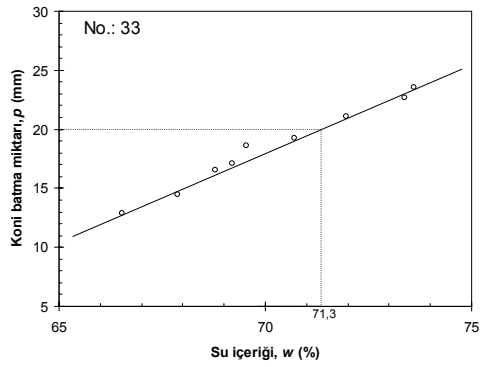
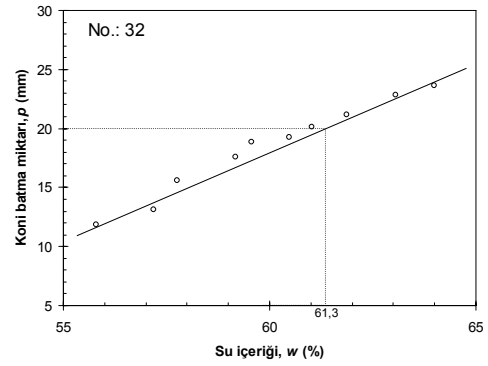
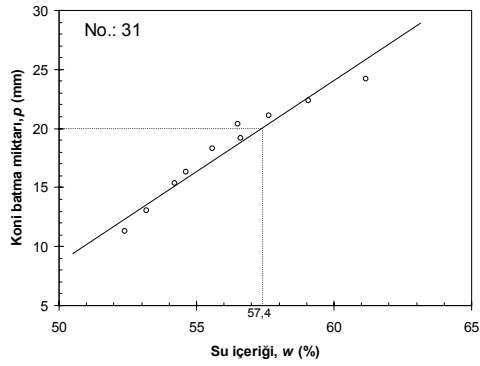
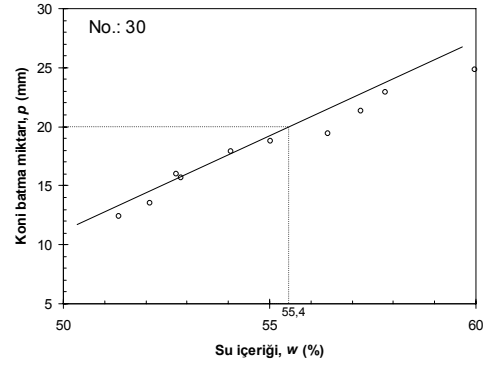
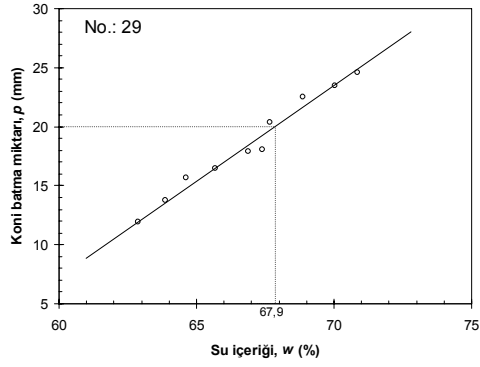
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



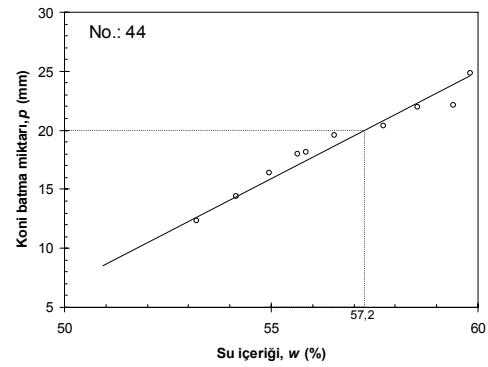
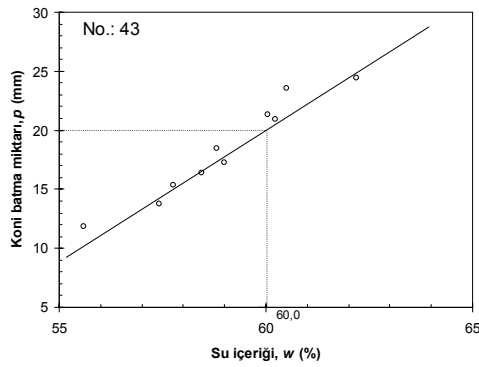
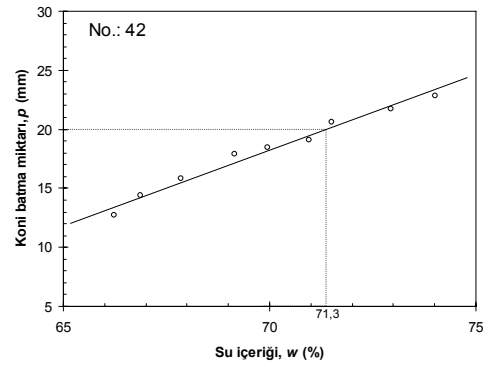
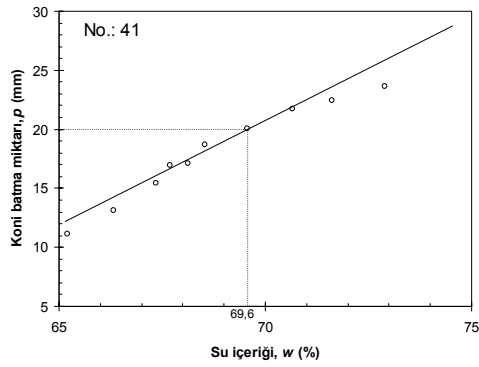
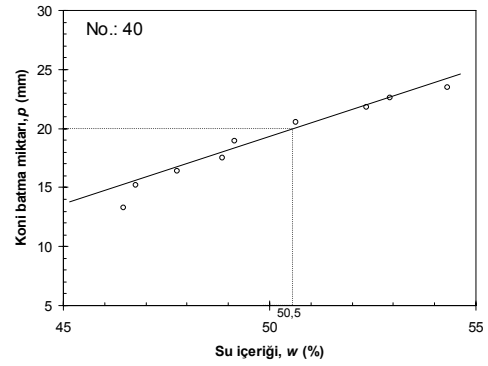
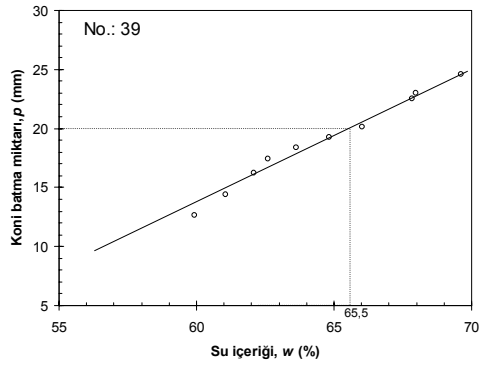
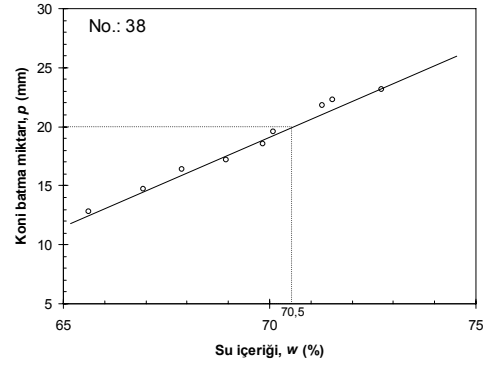
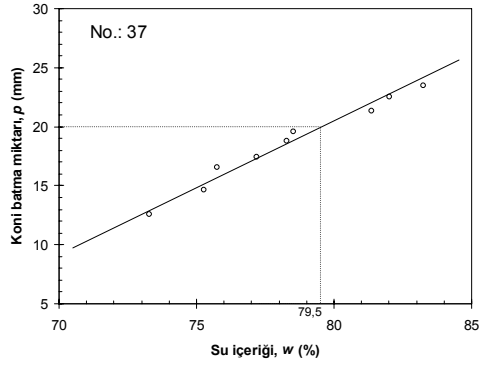
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



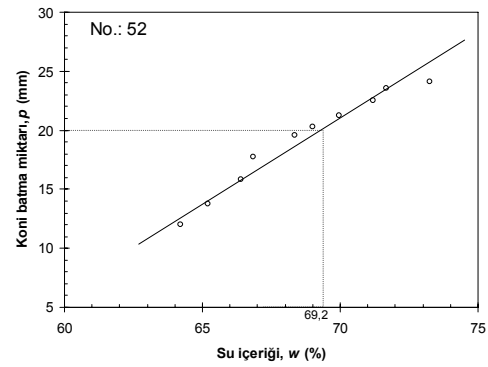
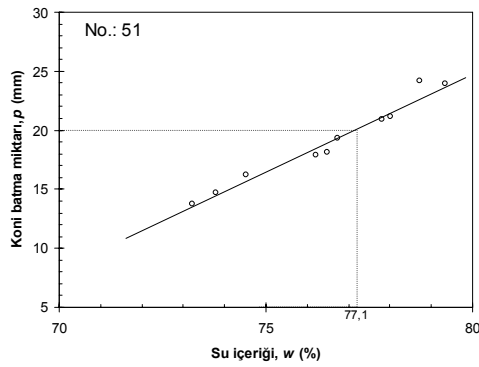
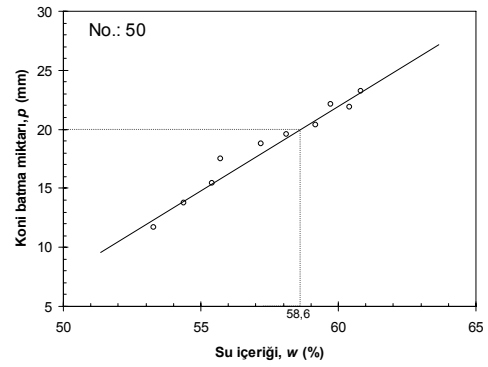
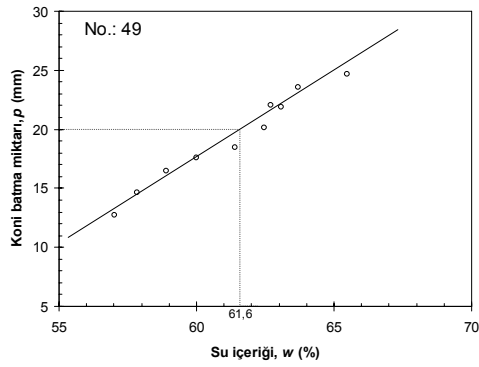
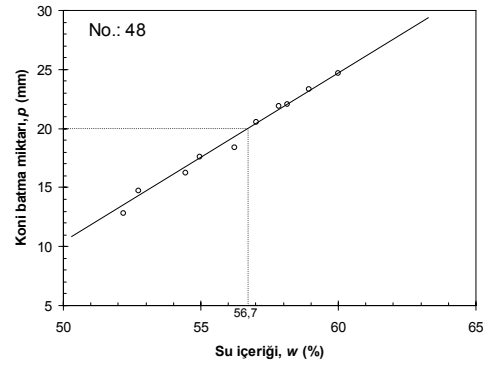
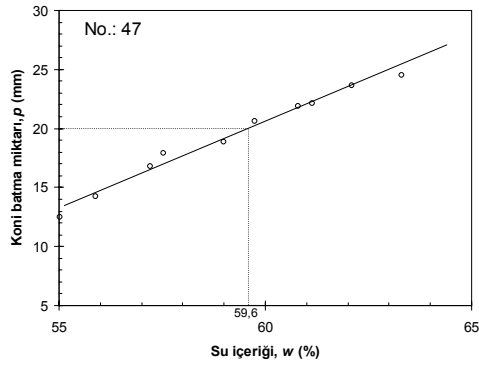
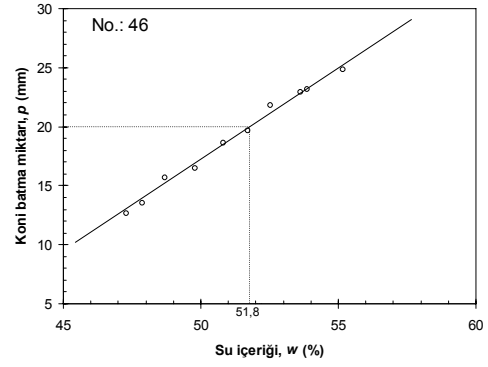
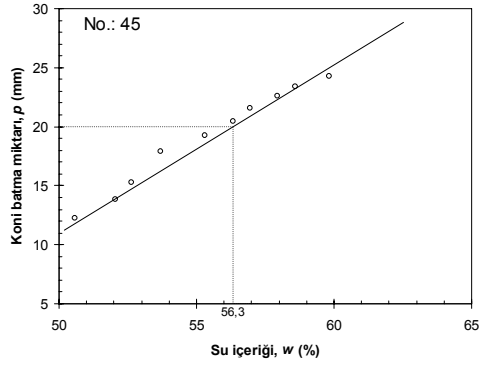
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



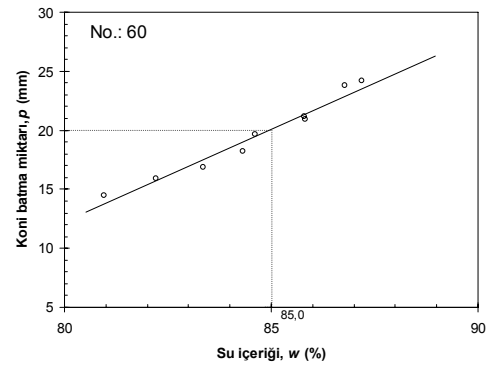
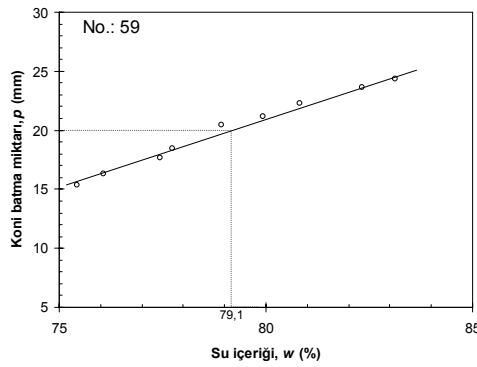
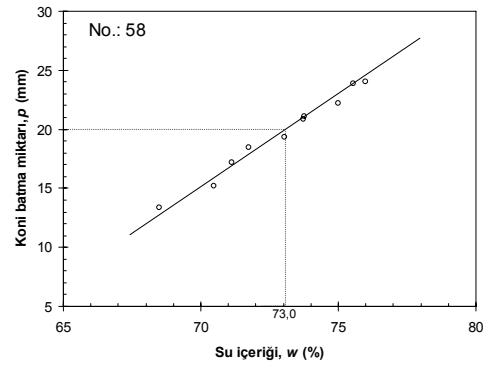
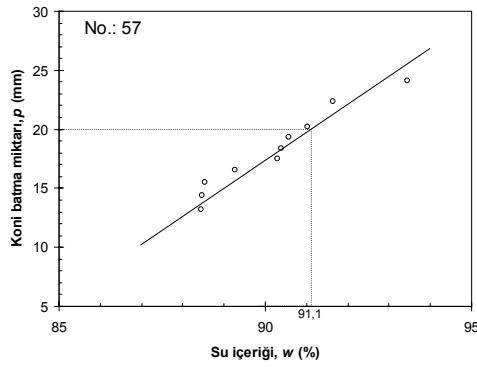
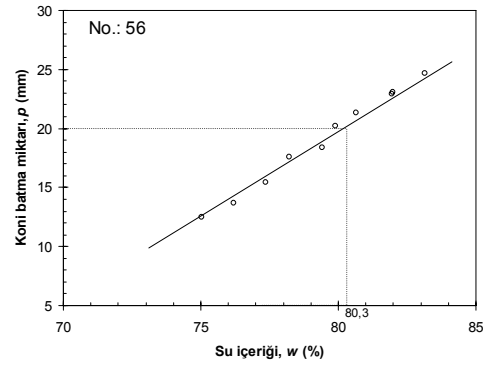
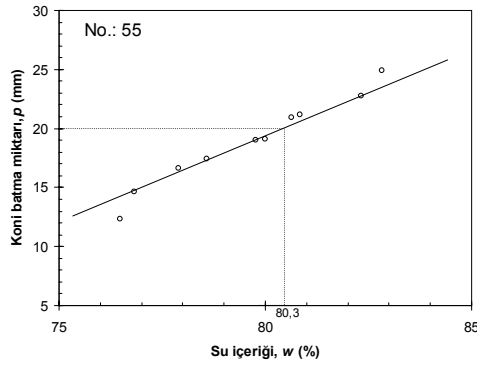
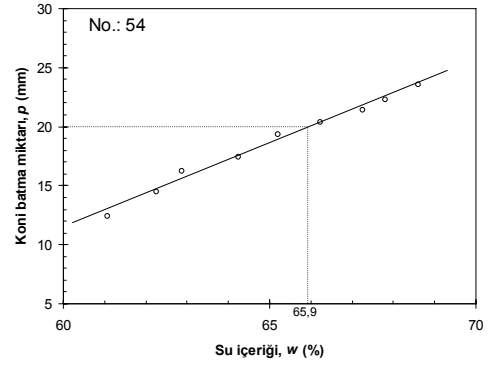
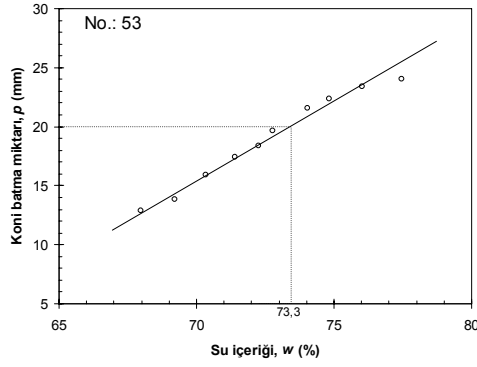
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



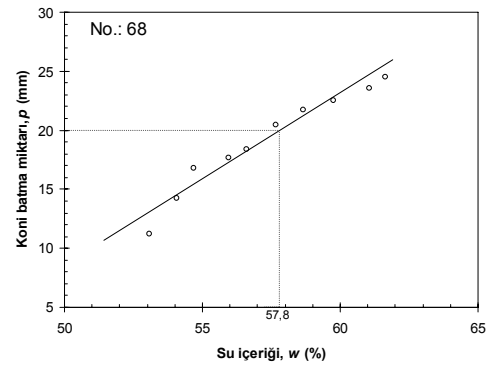
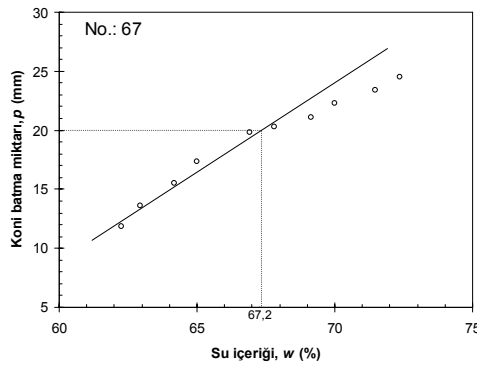
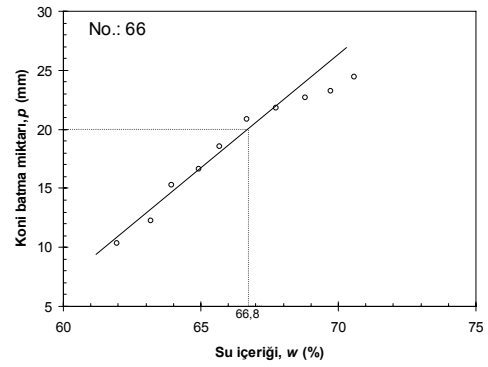
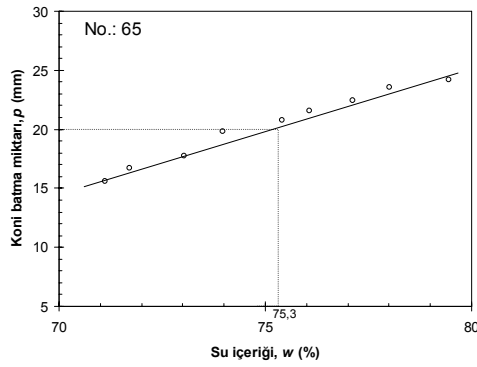
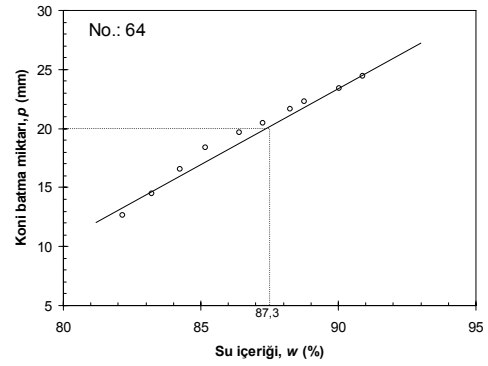
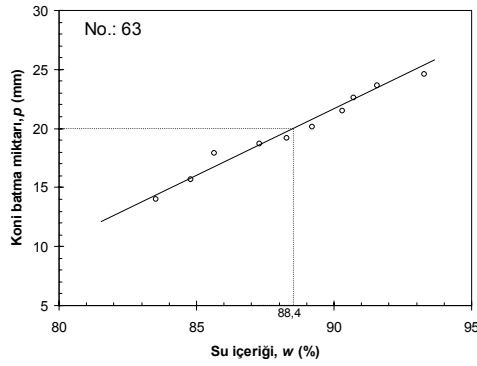
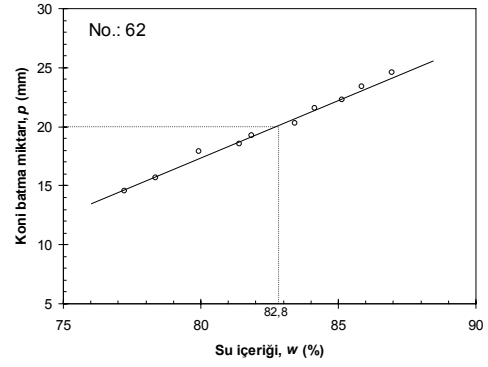
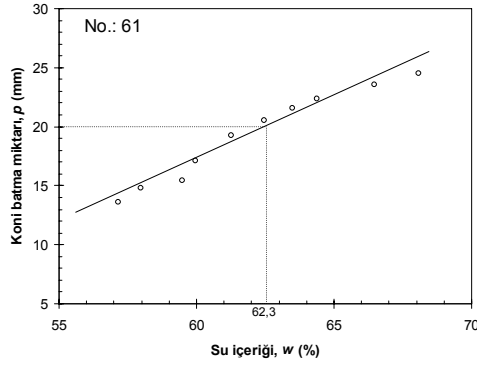
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



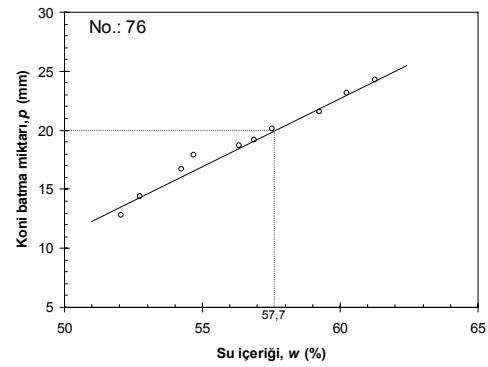
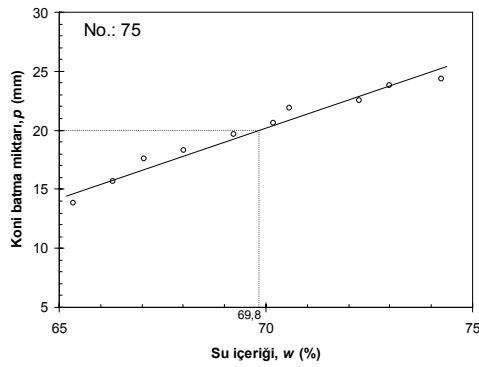
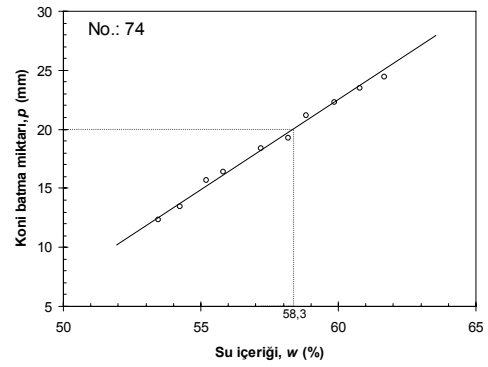
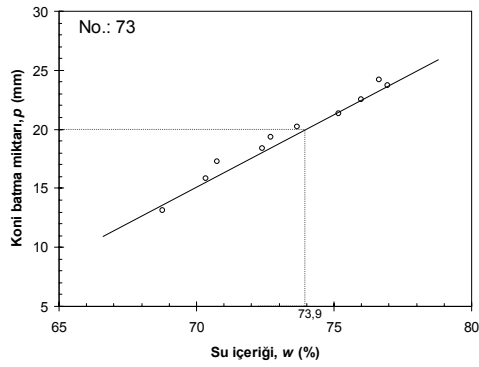
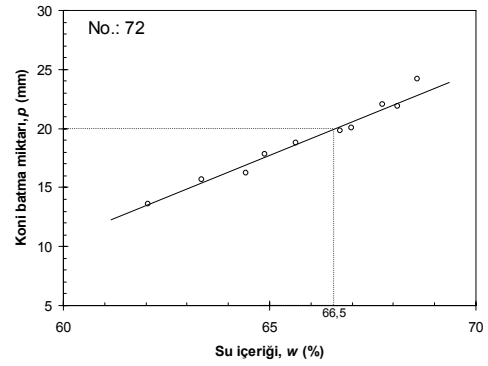
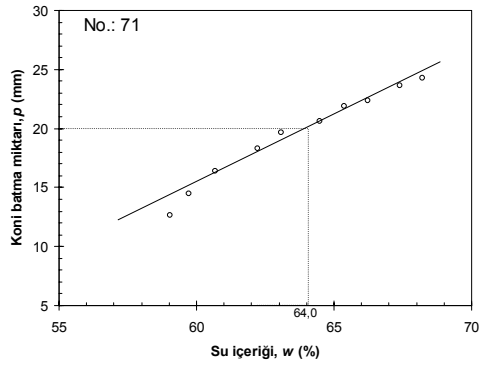
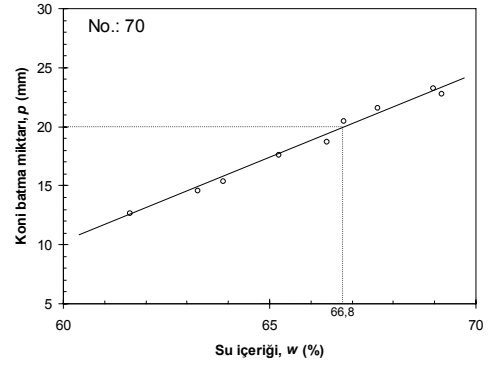
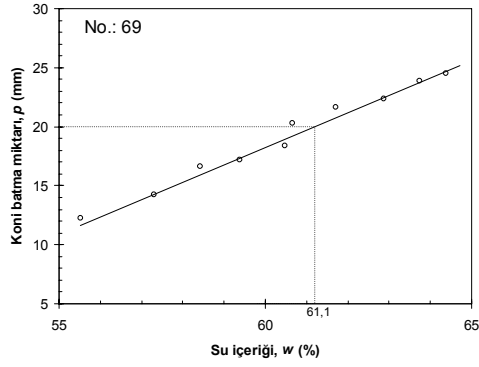
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



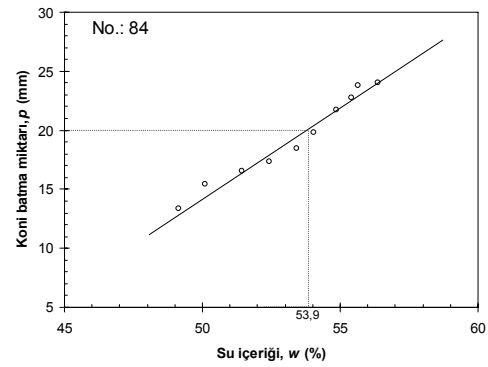
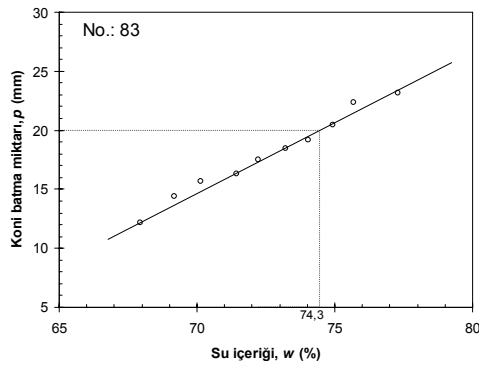
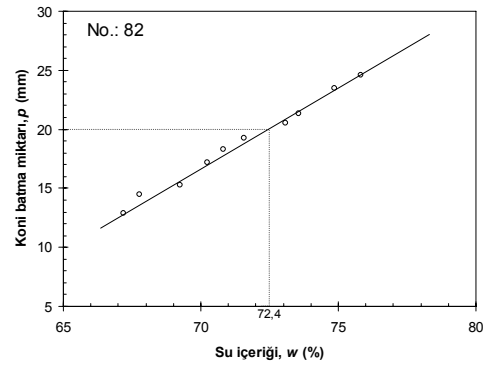
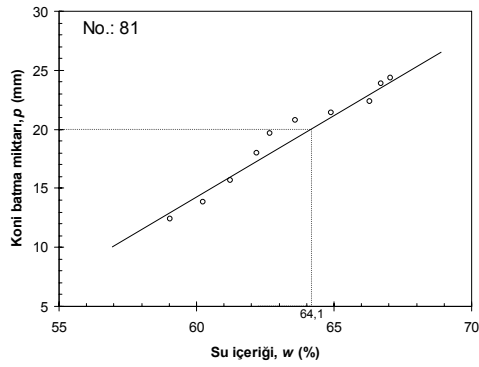
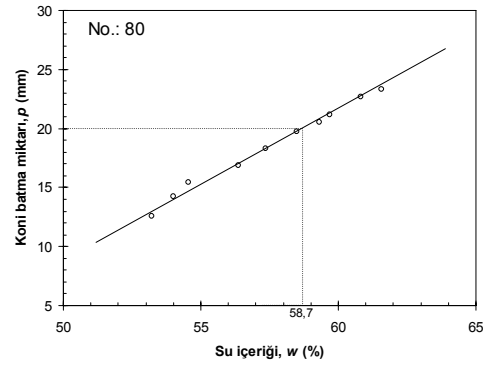
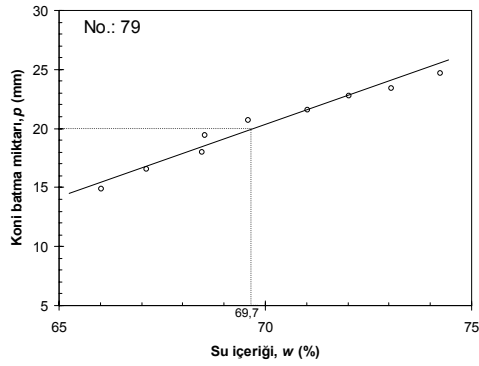
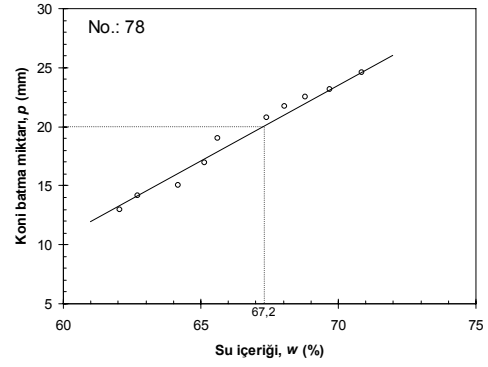
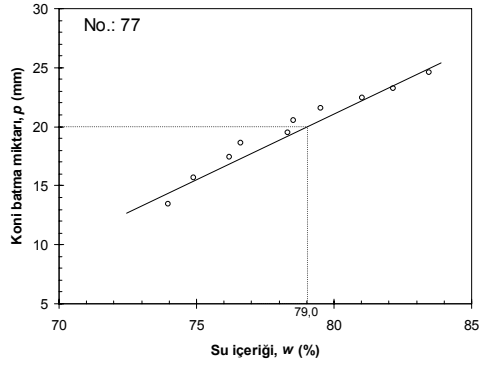
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



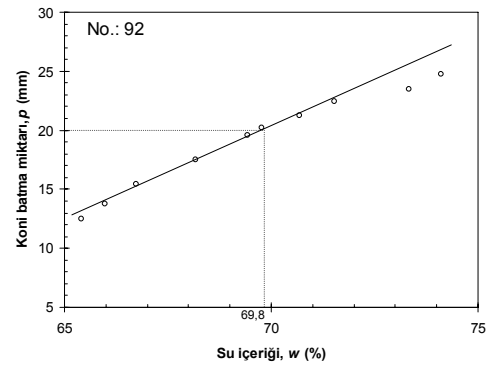
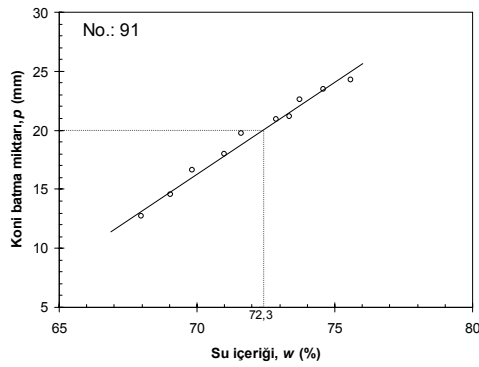
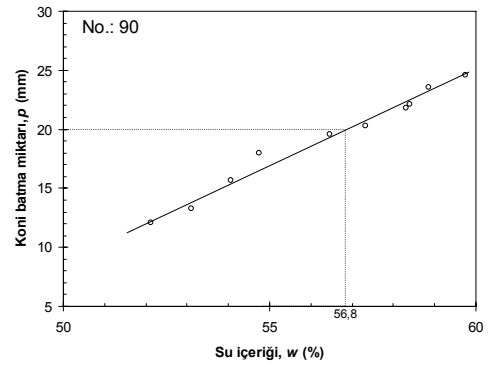
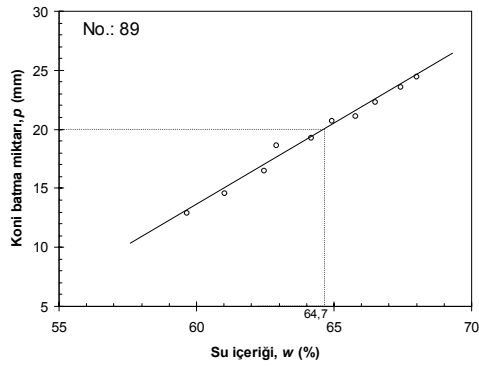
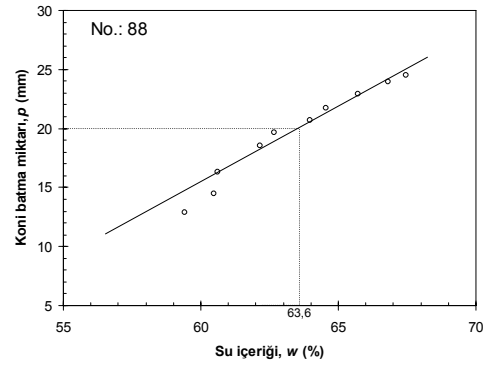
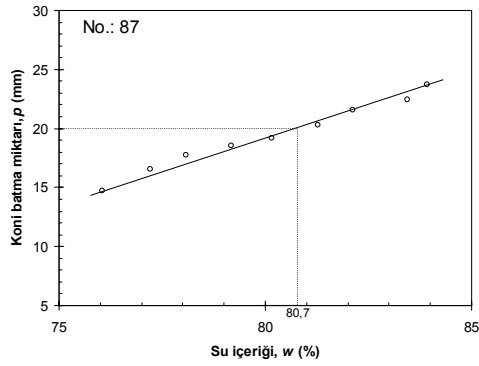
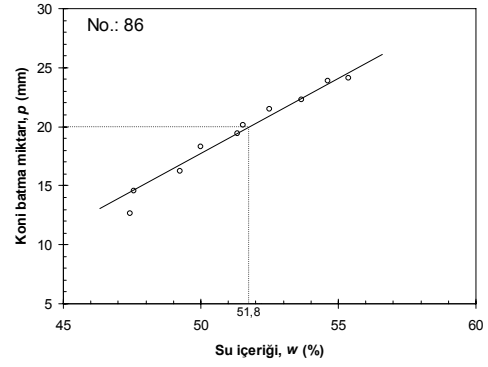
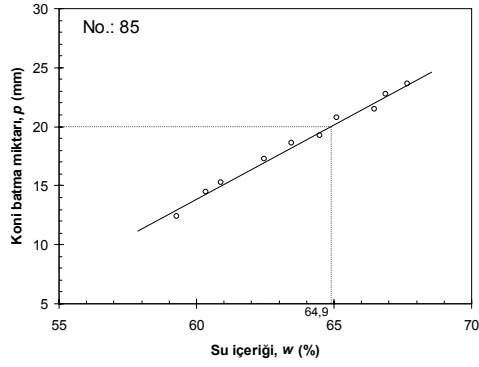
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



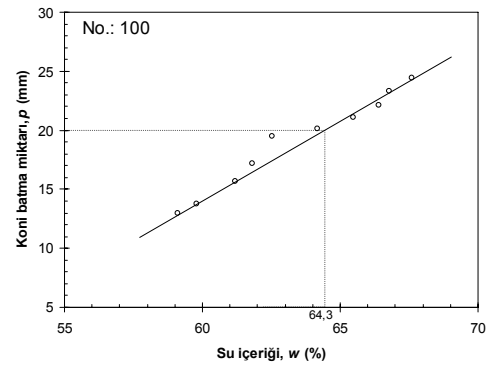
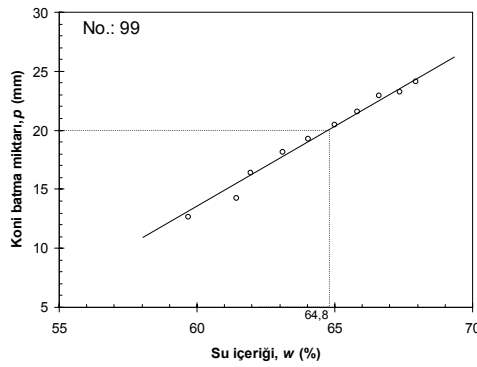
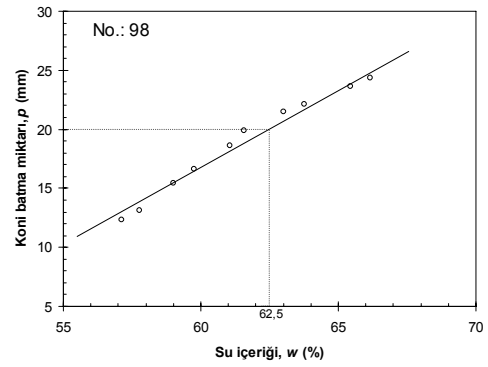
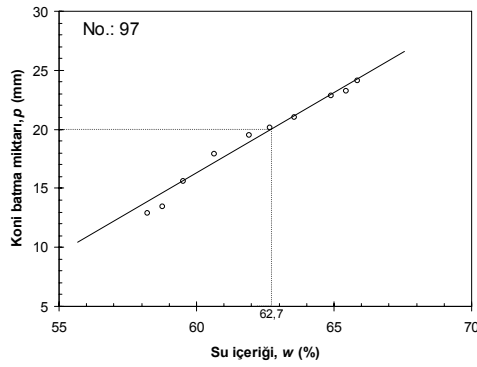
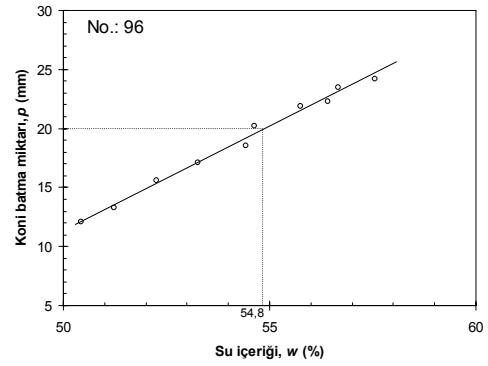
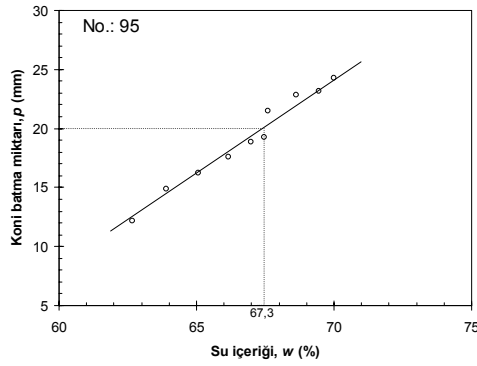
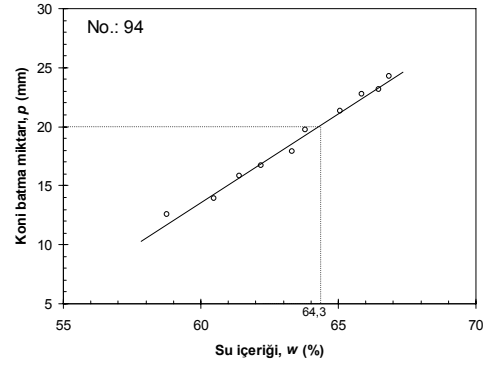
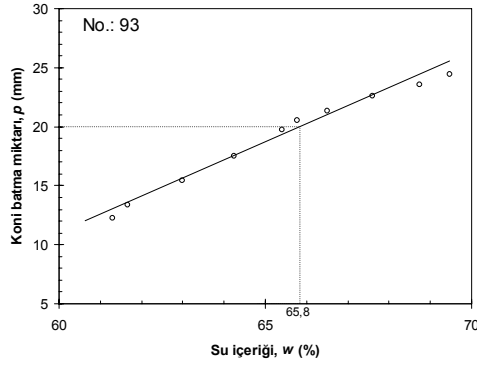
Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



Ek 1 Düşen koni deneyi sonuçları (devam)



Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları

01		02		03		04	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
28,5	2959	22,2	5684	26,7	5485	25,5	3253
30,2	1972	23,6	4049	30,0	3365	27,0	2768
31,1	2033	24,4	3114	31,0	2967	28,5	2007
32,5	1644	27,5	1843	32,5	2379	29,8	1687
34,7	1393	30,3	1246	36,0	1488	31,6	1306
37,6	882	33,7	865	36,3	1384	33,6	943
40,5	614	36,1	519	40,1	805	35,3	701
42,9	415	39,9	329	43,0	493	37,6	450
45,3	311	43,1	216	44,4	424	39,9	311
48,9	182	43,8	147	47,3	225	41,2	260
05		06		07		08	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
28,0	7405	30,0	4126	32,4	3192	27,8	2915
29,6	5588	33,1	2907	35,8	2405	29,9	2050
32,2	3824	35,9	2059	36,3	2336	31,7	1574
34,9	2708	38,3	1462	39,0	1808	33,5	1159
37,2	1955	41,4	995	41,3	1453	35,7	900
39,1	1574	44,0	761	44,3	943	37,4	649
42,3	1099	47,1	562	46,7	735	39,5	493
44,4	856	49,5	441	49,9	554	41,1	372
47,0	580	49,8	381	53,4	355	42,5	294
49,5	441	53,4	285	56,3	251	44,5	225
09		10		11		12	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
30,1	4395	29,6	3677	29,6	3876	21,7	2422
30,8	3668	32,6	2388	32,6	3132	22,8	2024
32,7	2855	35,4	1713	35,4	2275	23,6	1773
35,8	1704	38,6	1133	38,6	1799	25,4	1306
38,2	1133	42,5	900	42,5	1350	27,8	865
41,4	779	44,5	727	44,5	943	29,6	675
44,5	519	47,3	571	47,3	718	31,5	519
47,4	346	50,3	381	50,3	528	33,4	415
50,6	260	53,4	294	53,4	346	35,6	285
53,9	156	56,7	173	56,7	268	37,1	225

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

13		14		15		16	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
24,9	2751	39,3	2941	35,9	3469	35,7	3988
27,1	1808	41,8	2059	37,5	2690	36,9	3357
29,5	1375	42,0	2119	39,7	1886	39,6	2197
32,2	960	43,1	1756	41,5	1488	40,2	2033
33,5	839	45,9	1298	43,8	943	41,9	1367
34,7	692	47,3	1038	44,4	874	43,8	1003
37,2	528	48,8	839	46,5	666	46,3	709
39,1	407	50,6	606	48,6	458	48,9	424
40,9	363	52,3	450	50,7	337	50,0	372
43,7	260	56,4	251	52,5	199	52,1	242
17		18		19		20	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
24,6	3495	31,8	2959	27,2	3573	23,4	3045
26,3	2318	31,8	2820	29,4	2388	25,4	2154
28,1	1722	33,9	1877	29,4	2474	27,3	1384
30,4	1254	34,0	1990	30,7	1972	29,3	1012
31,9	1021	34,8	1661	31,5	1652	31,1	779
34,4	753	35,7	1341	32,0	1548	33,4	571
36,1	606	37,5	761	34,8	934	34,8	450
37,8	484	38,9	623	37,4	580	36,5	363
39,4	372	40,6	424	38,8	415	38,8	260
42,1	260	44,0	190	40,6	268	39,9	225
21		22		23		24	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
23,9	3357	27,9	3331	27,4	3581	25,1	3010
25,1	2846	29,9	2284	29,3	2465	25,7	2604
25,9	2344	31,8	1548	31,3	1877	26,5	2206
28,2	1453	33,5	1228	33,1	1280	27,3	1912
30,0	1021	35,2	960	35,0	1038	28,9	1298
31,5	753	37,6	718	36,9	753	29,3	1202
34,1	519	39,3	545	38,6	536	30,6	856
35,5	389	41,3	415	40,3	450	31,4	744
37,5	268	43,7	311	43,0	355	32,7	545
38,8	208	45,2	242	44,7	285	35,2	277

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

25		26		27		28	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
25,9	3746	26,5	2907	28,0	3573	24,2	3685
27,6	2829	28,5	2007	29,4	2613	26,4	2881
31,4	1367	29,2	1799	31,7	1869	27,9	2033
31,7	1410	30,6	1393	33,4	1185	30,0	1419
33,3	1055	31,9	1012	35,5	926	31,7	1055
35,7	770	32,4	882	38,1	683	34,2	718
37,5	606	33,0	701	39,8	510	36,6	519
39,5	476	34,7	493	41,9	433	38,0	398
41,4	372	36,2	389	44,0	372	40,4	346
43,3	277	38,3	199	45,6	268	41,8	242
29		30		31		32	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
29,9	3322	23,3	3997	29,7	2483	23,6	3036
31,1	2630	25,4	2751	31,4	1834	25,5	2093
33,3	2007	27,3	1773	32,0	1618	28,0	1419
35,8	1479	30,3	1090	33,0	1384	29,4	1021
37,4	1177	31,0	865	33,3	1280	31,5	796
39,4	882	32,7	657	35,1	934	33,5	606
41,0	709	34,7	433	37,1	588	35,5	476
43,0	458	36,7	303	39,4	381	37,2	372
44,6	363	38,6	251	40,9	285	39,1	294
47,2	225	39,8	173	42,1	199	40,6	216
33		34		35		36	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
26,7	2976	21,5	3495	28,1	2362	23,9	3478
28,8	2465	22,4	2699	30,2	1644	24,7	2734
30,3	1739	23,4	2042	31,9	1194	25,9	2206
32,3	1445	24,4	1652	33,5	917	26,8	1730
34,3	1029	25,2	1401	35,5	701	27,6	1479
36,1	675	27,3	969	37,3	562	28,7	1168
37,9	545	29,3	701	39,2	433	29,4	1012
40,5	398	31,1	536	41,4	355	31,6	606
42,8	277	33,4	355	43,1	268	33,7	363
44,1	251	35,2	242	45,1	242	35,6	225

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

37		38		39		40	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
29,9	2154	29,2	3166	26,0	2699	24,6	3270
31,9	1540	30,6	2465	27,9	2007	25,6	2621
33,5	1090	31,0	2336	29,9	1479	26,4	2241
36,0	839	32,3	1834	31,8	1047	27,2	2007
36,0	830	32,6	1678	33,7	822	29,1	1289
39,7	554	34,5	1168	35,8	562	30,9	943
41,8	424	37,2	761	37,5	467	31,6	727
44,1	381	38,9	571	39,5	363	33,4	484
46,2	285	41,4	346	41,2	268	34,8	355
47,1	268	43,2	216	43,0	190	36,8	199
41		42		43		44	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
30,3	7569	28,4	3296	29,9	3677	21,7	3910
33,0	4879	29,7	2422	31,5	2881	23,5	2621
34,5	4542	31,7	1851	34,0	2007	25,4	1929
35,9	3452	33,2	1427	35,4	1574	27,2	1358
37,6	2604	35,2	1125	36,3	1453	29,2	1090
39,2	2119	37,1	926	38,9	900	31,0	761
41,4	1445	39,4	666	41,5	562	33,4	580
45,3	761	40,9	467	43,0	450	35,1	441
48,8	407	43,5	372	45,3	277	37,1	337
50,4	294	45,0	260	47,0	208	38,6	242
45		46		47		48	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
25,0	3400	24,8	3019	25,5	3417	28,0	3149
26,2	2301	25,8	2509	27,2	2310	28,8	2604
26,6	2154	26,5	2206	27,2	2362	30,4	2007
28,4	1445	27,6	1834	29,2	1652	31,6	1739
30,8	1029	28,3	1592	31,1	1228	32,9	1280
32,4	753	29,3	1289	33,1	891	34,6	1003
34,4	519	30,7	1029	34,7	683	36,6	623
36,3	450	32,9	675	36,6	458	38,6	458
38,9	251	34,0	467	38,4	346	40,1	311
39,5	234	36,4	268	40,6	208	41,7	208

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

49		50		51		52	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
29,3	2820	21,7	4671	34,2	2457	28,9	2786
30,1	2388	23,7	3019	36,7	1678	31,0	2154
30,9	2068	25,8	2068	39,1	1228	33,4	1332
32,9	1540	27,6	1540	41,2	1029	34,5	1151
32,9	1497	29,5	1125	43,1	856	36,6	865
34,6	1168	31,6	830	45,2	683	38,3	683
36,0	856	33,1	640	47,3	580	40,7	545
38,4	623	34,6	510	49,3	476	42,3	441
40,9	346	36,8	372	51,2	381	44,6	355
42,9	199	38,5	268	52,8	329	46,5	277
53		54		55		56	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
36,8	1972	28,8	2318	37,7	2379	34,1	2604
38,6	1808	30,6	1635	39,1	1946	35,3	1972
40,7	1254	32,3	1384	41,8	1479	37,5	1730
42,3	1099	34,4	986	42,7	1237	39,8	1298
43,7	770	36,6	813	44,7	1003	41,6	1133
45,7	666	38,8	640	47,5	718	43,3	926
48,0	502	40,9	441	49,0	614	45,4	779
49,3	389	42,7	372	50,8	502	47,3	614
52,0	294	44,1	285	54,0	346	49,4	476
54,0	190	45,8	242	54,8	320	51,4	424
57		58		59		60	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
34,9	3036	29,2	2837	32,0	2768	34,0	2215
36,1	2440	31,2	2171	34,0	2068	36,1	1869
38,8	1955	33,3	1661	36,9	1289	38,2	1574
40,9	1574	35,0	1367	37,3	1125	41,1	1211
43,7	1220	36,8	1107	39,2	891	42,5	1055
45,3	969	39,2	822	41,6	718	44,7	900
47,9	770	40,6	692	43,3	623	46,2	744
50,6	640	42,7	580	45,7	458	49,1	536
55,8	450	45,7	407	46,7	381	51,6	424
59,6	346	48,3	320	49,2	329	55,1	311

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

61		62		63		64	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
28,1	3858	19,4	5415	26,7	2543	39,6	3097
30,3	2829	22,5	2967	29,4	1739	41,7	2448
32,3	1938	25,4	1834	32,0	1237	43,7	1955
34,4	1272	28,0	1246	33,7	1055	45,9	1488
36,2	926	31,2	822	36,4	848	47,4	1228
38,1	657	34,0	614	37,9	761	50,4	856
39,8	502	37,1	450	40,5	588	51,7	727
41,5	355	39,7	372	42,6	502	54,8	528
43,5	268	41,0	320	45,6	407	56,2	441
44,9	199	42,4	260	48,1	329	59,1	320
65		66		67		68	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
38,0	3132	35,6	3884	26,5	2959	34,4	2284
40,4	2292	37,0	3183	28,3	2241	34,9	2223
42,2	1652	39,9	1981	30,6	1523	36,1	1557
44,3	1341	41,6	1445	32,2	1211	36,5	1678
46,1	1012	43,4	1029	33,8	1047	38,1	1029
47,7	779	44,9	830	35,3	874	38,6	874
49,2	606	47,4	588	37,4	640	40,0	718
51,4	476	49,1	441	39,5	536	40,1	597
53,8	346	51,5	372	42,2	407	42,3	372
55,5	277	52,8	268	45,2	268	43,2	285
69		70		71		72	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
28,7	3780	21,8	5381	25,8	4040	27,0	3287
30,6	2638	23,7	4049	27,7	2734	29,5	2474
32,4	1929	25,6	2924	30,0	2093	30,6	1860
34,5	1445	27,0	1869	31,7	1523	32,8	1367
36,2	1064	30,5	1151	33,7	1142	34,5	1012
38,7	683	33,3	787	35,5	839	36,3	796
40,1	545	36,0	580	37,5	692	39,3	580
42,1	389	38,9	389	39,5	484	41,3	484
44,1	294	41,2	320	42,6	337	44,1	329
45,8	216	43,5	242	45,4	216	46,8	208

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

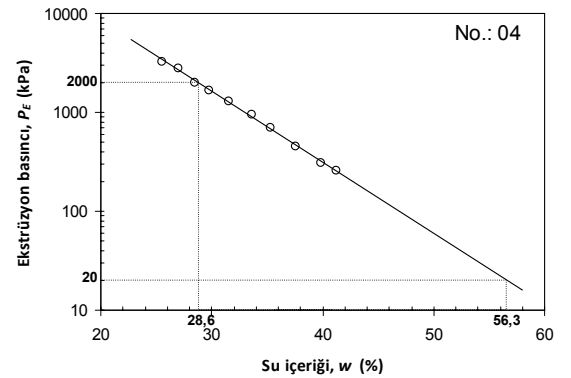
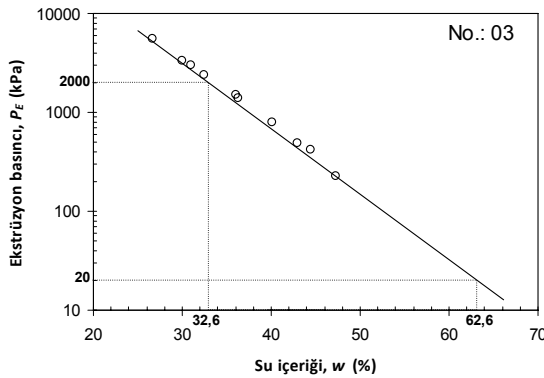
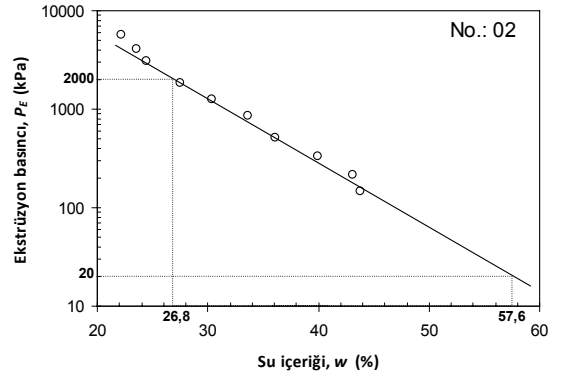
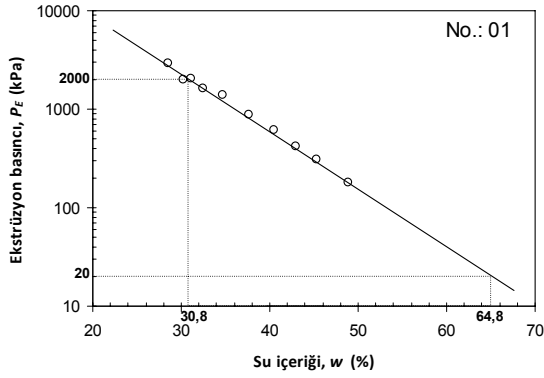
73		74		75		76	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
29,2	3036	29,5	4049	27,6	2664	29,3	3685
31,3	2249	30,4	3521	29,4	1912	30,2	3235
33,7	1566	31,8	2794	31,5	1272	31,2	2889
35,1	1159	33,8	2068	33,2	1029	33,1	2059
37,0	978	35,7	1375	35,5	787	35,0	1453
39,6	744	37,2	926	37,2	649	36,8	1107
41,3	588	40,2	597	39,7	484	38,5	735
43,2	502	42,3	355	41,2	424	40,7	528
46,2	372	43,8	277	44,6	285	42,7	355
49,7	268	45,5	208	47,5	208	44,6	260
77		78		79		80	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
27,9	2440	27,5	2907	33,4	2985	25,6	4031
29,6	1912	29,3	2128	35,2	2206	27,5	2673
31,7	1427	31,1	1548	37,1	1799	29,6	1912
33,5	1107	33,2	1168	39,0	1384	31,1	1263
35,4	848	35,1	865	41,1	1090	32,8	1029
37,3	692	36,9	709	43,3	848	34,8	770
39,6	562	39,5	528	44,9	657	37,3	554
41,3	467	41,1	424	47,1	502	39,0	433
44,4	381	44,0	303	49,4	372	41,0	337
47,3	285	47,1	225	50,5	311	43,4	242
81		82		83		84	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
31,2	3555	27,2	2474	29,5	2708	21,3	3893
33,3	2656	29,0	1834	31,4	2111	23,2	2734
35,3	2163	31,3	1332	33,4	1609	25,1	1808
37,0	1488	32,9	1064	35,3	1246	27,1	1228
39,6	952	34,8	926	37,0	960	28,8	874
41,6	701	36,9	744	39,8	718	30,6	666
43,1	571	39,5	580	41,6	588	33,2	484
45,3	398	41,1	493	43,5	493	35,0	398
47,2	311	44,2	372	46,4	372	36,9	303
48,7	251	47,0	303	49,3	277	39,1	225

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

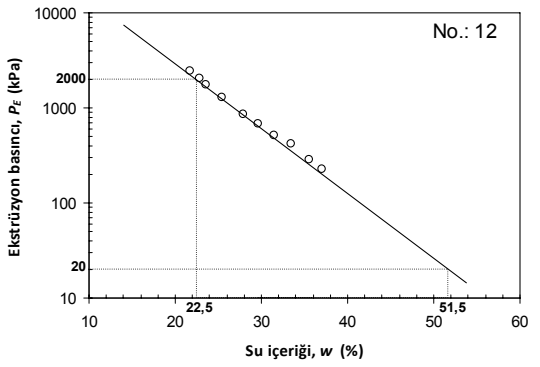
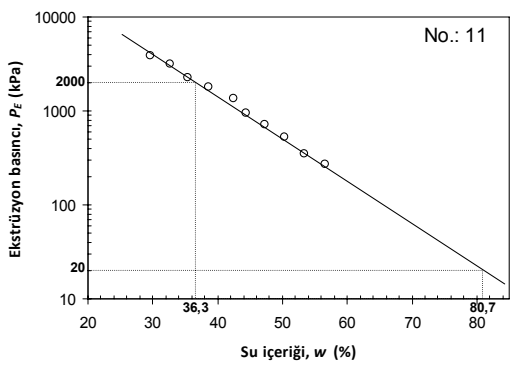
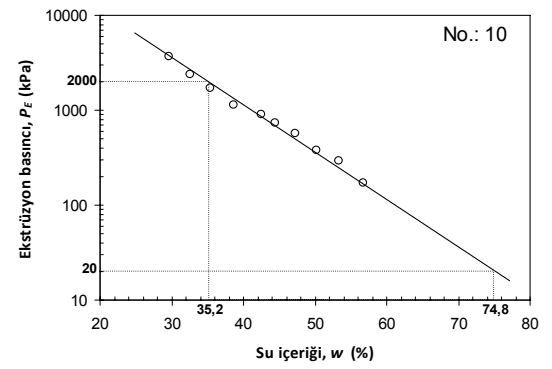
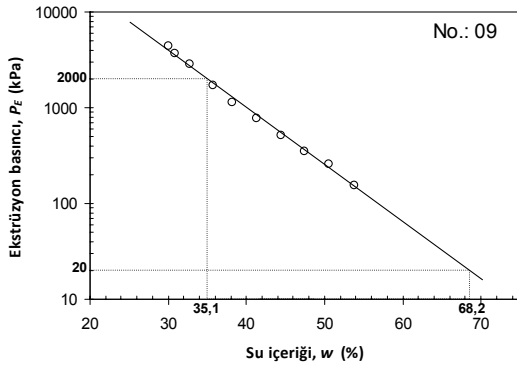
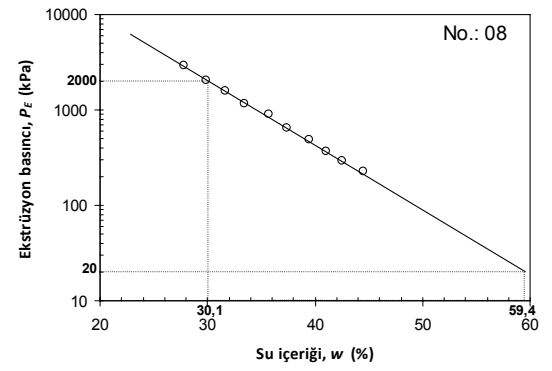
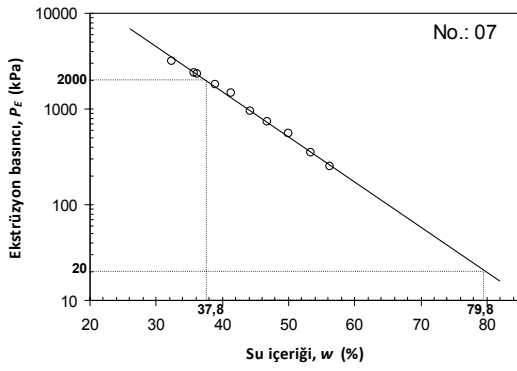
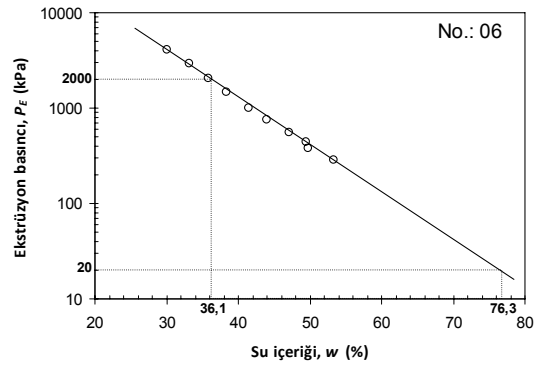
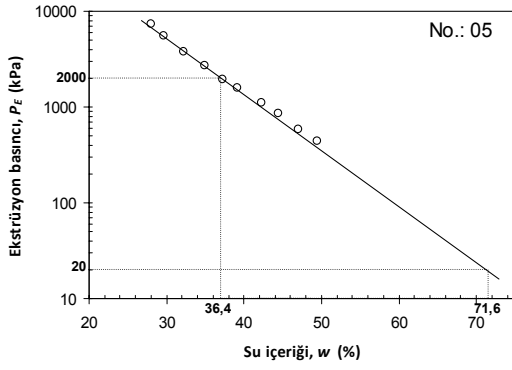
85		86		87		88	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
27,6	2725	26,0	3495	28,9	1972	30,1	3789
29,4	1765	27,0	3071	31,1	1523	31,7	2708
31,7	1315	28,9	2197	32,8	1116	33,0	2180
32,8	1142	30,8	1419	35,0	934	35,2	1462
34,7	830	32,5	1003	36,4	709	37,6	1090
36,9	675	34,5	744	39,8	597	39,4	813
38,7	554	36,6	545	41,3	476	41,0	623
41,0	441	39,0	363	43,4	389	42,9	467
43,7	320	40,6	268	44,9	346	45,7	329
46,2	242	42,1	234	47,5	277	49,2	173
89		90		91		92	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
27,3	2872	28,4	3132	38,6	3374	27,0	2535
29,5	1972	29,2	2604	42,3	1920	29,2	1869
31,3	1514	30,0	2180	43,7	1756	31,0	1488
32,9	1107	31,4	1860	45,1	1375	32,7	1159
34,7	900	33,4	1289	47,1	995	34,8	856
36,9	692	35,4	839	48,8	779	37,0	675
39,4	554	37,3	640	50,4	683	38,3	562
41,3	458	39,8	441	52,3	502	40,7	424
44,4	337	41,5	337	54,8	337	43,2	303
46,8	242	42,9	242	57,3	242	46,1	225
93		94		95		96	
w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)	w (%)	P _E (kPa)
33,5	2993	25,0	3426	28,0	3703	27,3	3625
35,4	2318	27,0	2241	30,3	2431	29,5	2561
37,3	1670	28,8	1713	31,6	1843	31,1	1661
39,0	1263	30,4	1298	33,4	1375	32,9	1228
40,7	1003	32,4	1029	35,7	900	34,7	882
42,4	761	34,3	813	37,6	735	36,4	692
44,2	649	36,1	666	39,8	588	38,5	493
47,0	424	37,8	536	41,7	424	40,6	363
49,6	346	40,6	389	43,1	346	42,3	268
53,0	190	43,3	285	45,3	251	44,3	190

Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)

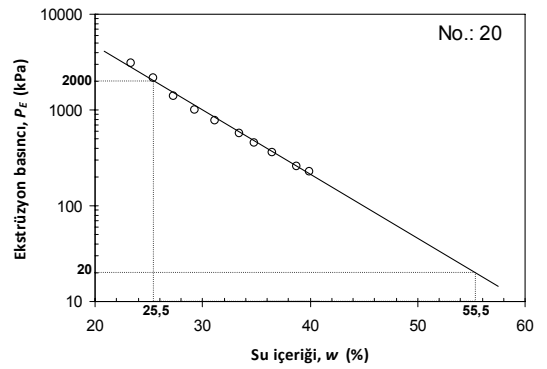
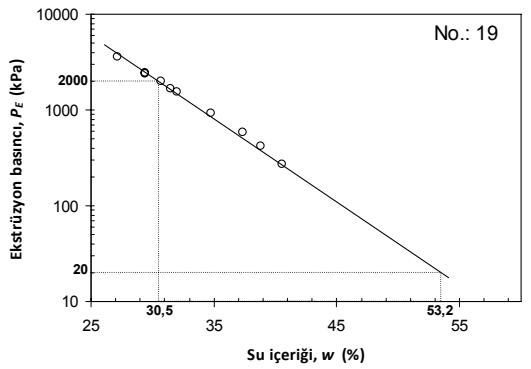
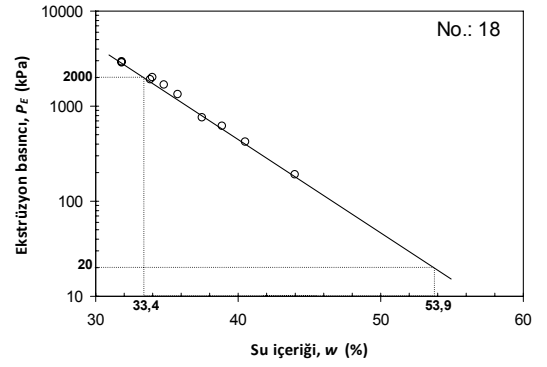
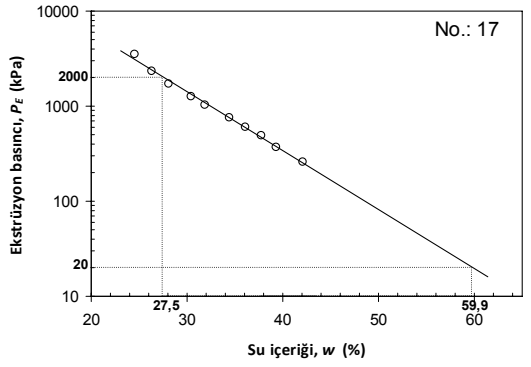
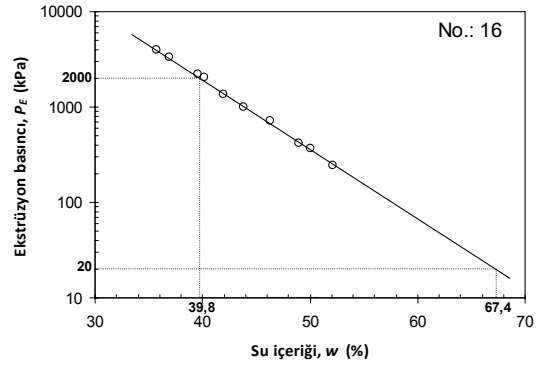
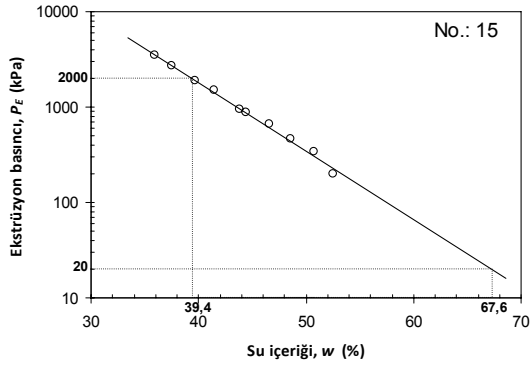
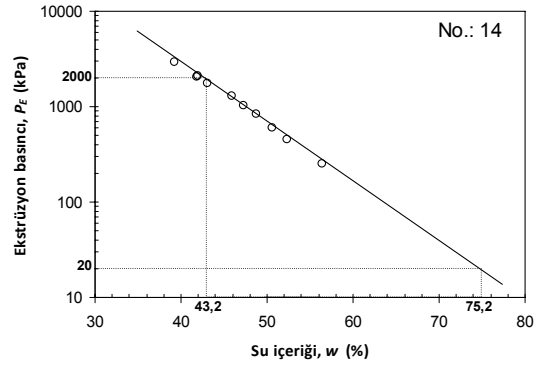
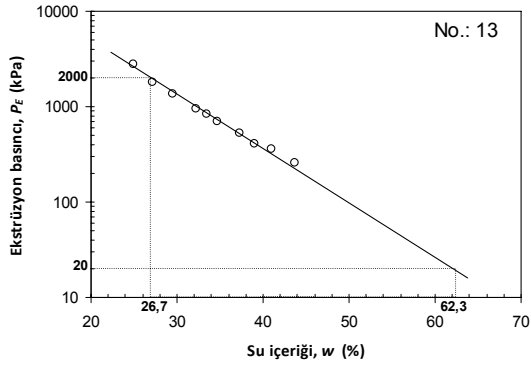
97		98		99		100	
w (%)	P_E (kPa)	w (%)	P_E (kPa)	w (%)	P_E (kPa)	w (%)	P_E (kPa)
25,9	3555	29,2	3858	32,8	2907	25,4	3426
28,1	2647	31,1	2863	34,4	1972	27,4	2414
29,7	1929	33,2	2016	36,8	1471	29,3	1799
31,6	1393	35,2	1462	38,7	1185	31,3	1367
33,4	1038	37,1	995	40,1	934	32,8	1029
35,9	735	38,6	805	42,2	718	34,8	813
37,3	588	40,9	580	43,9	562	36,6	666
38,8	467	42,7	484	46,0	441	38,4	545
41,3	346	44,6	337	48,7	294	41,2	389
42,8	268	46,6	242	50,8	208	43,6	285



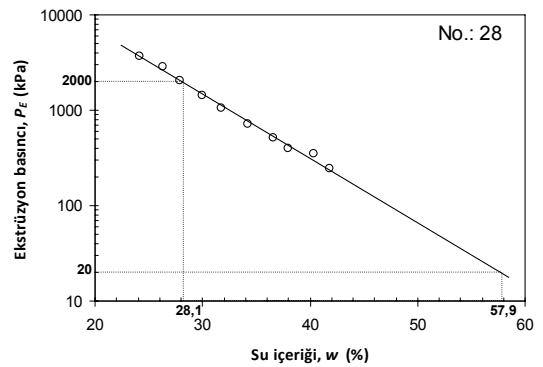
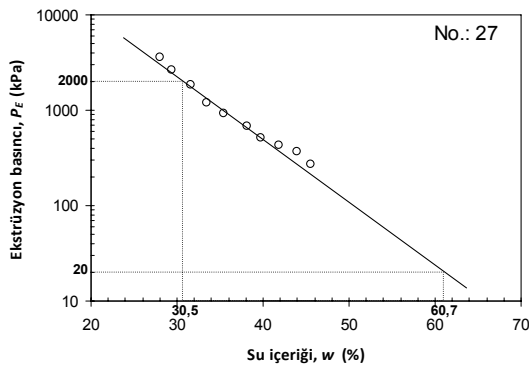
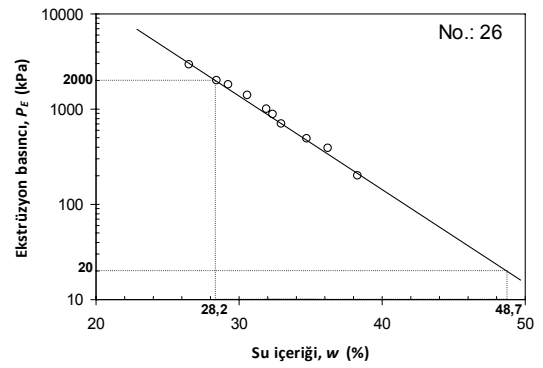
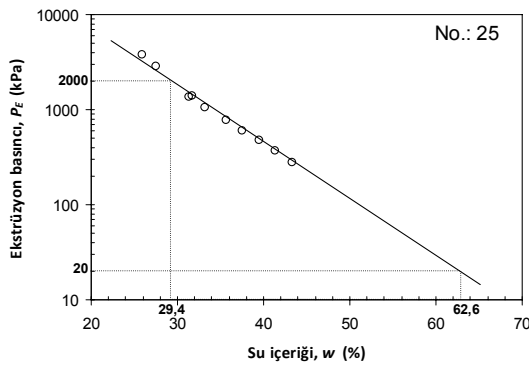
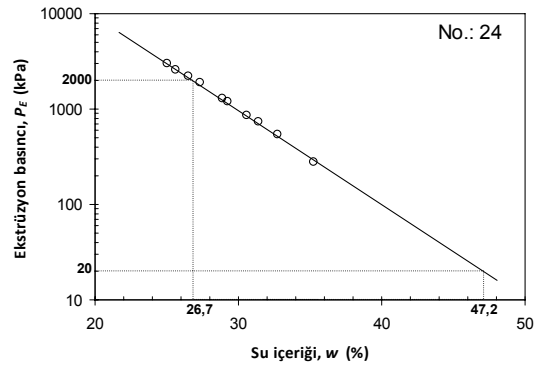
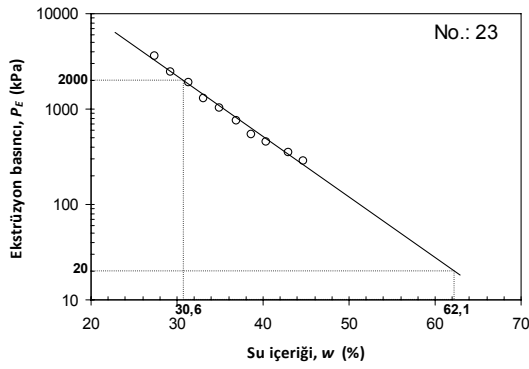
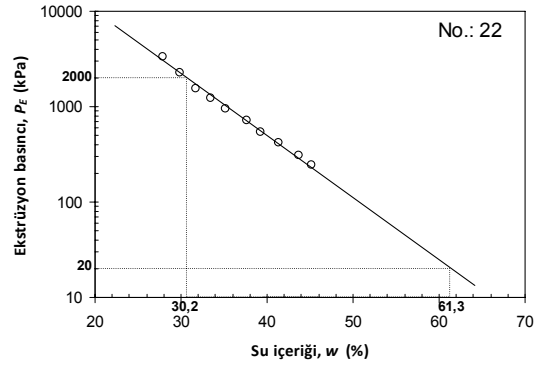
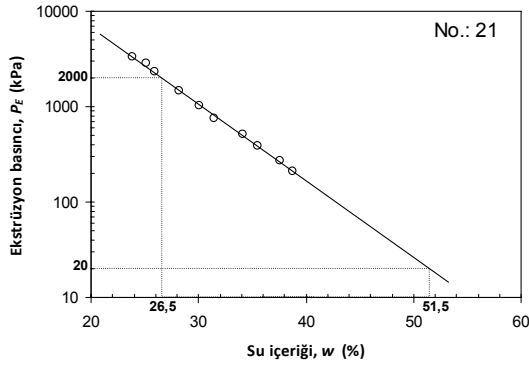
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



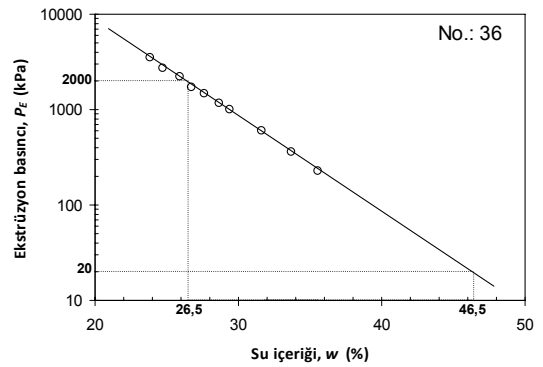
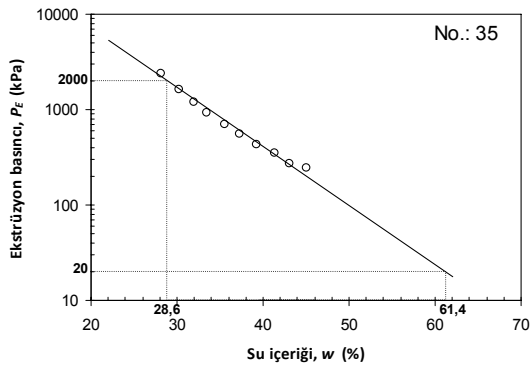
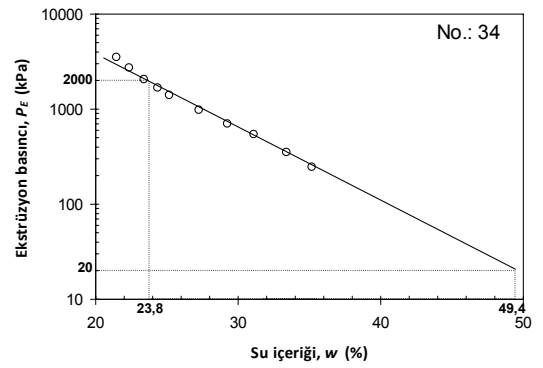
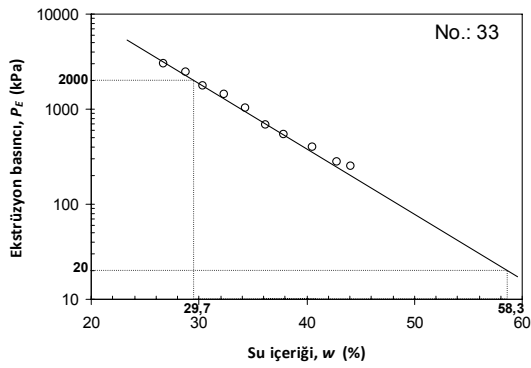
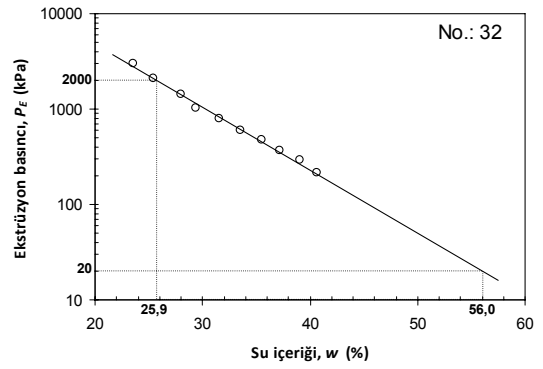
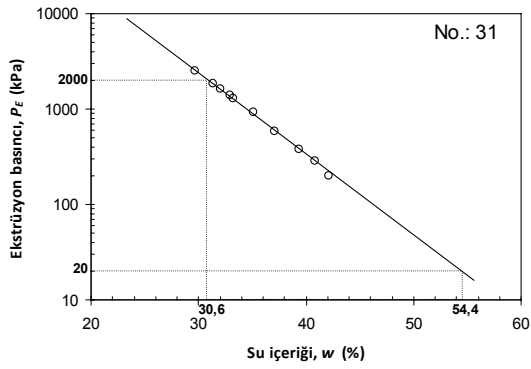
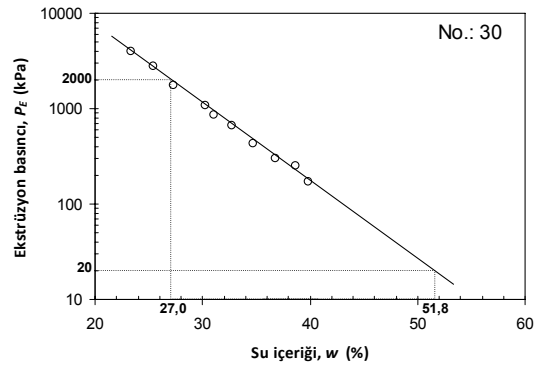
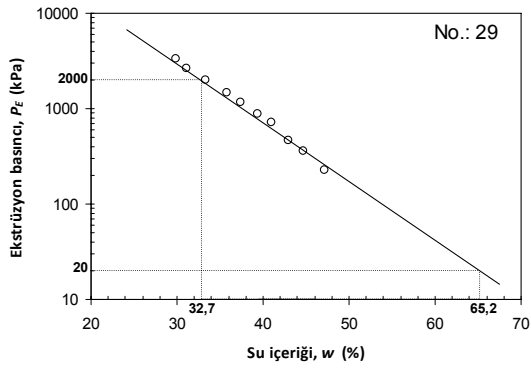
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



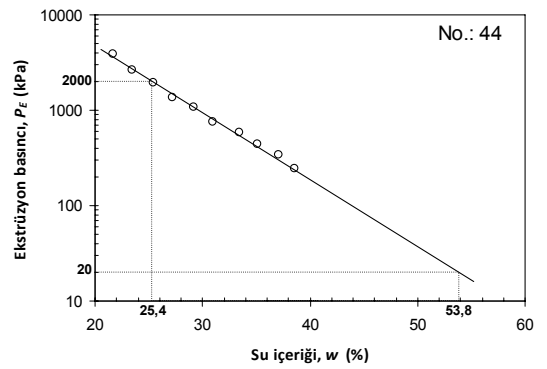
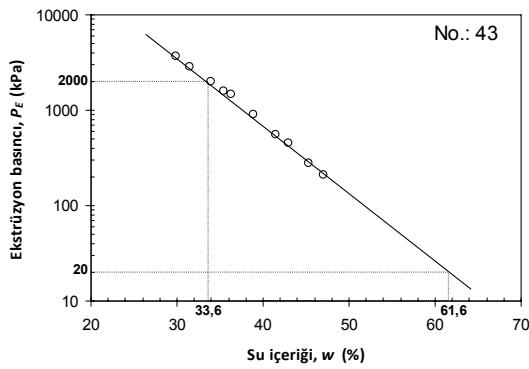
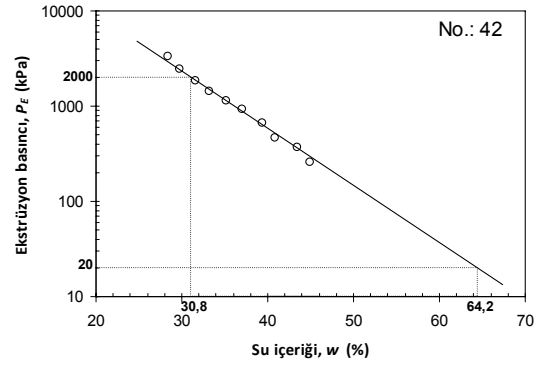
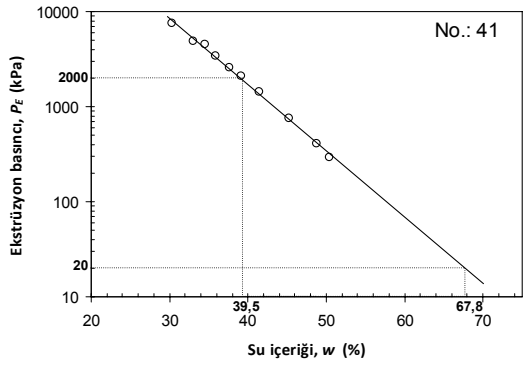
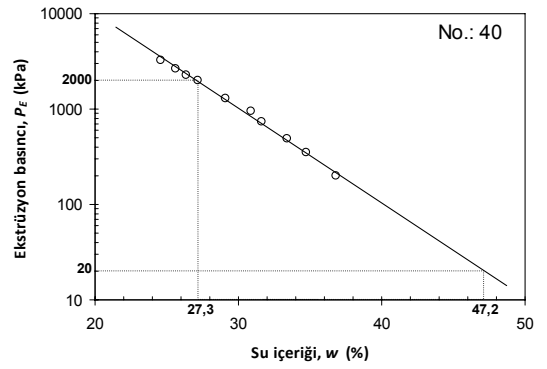
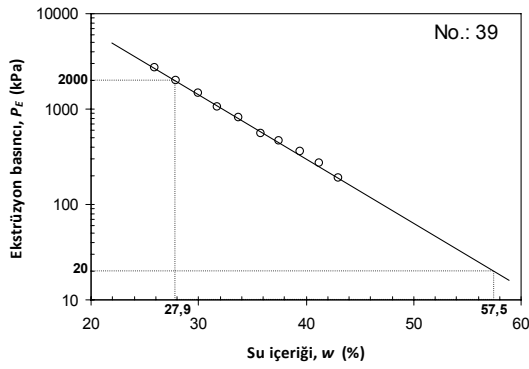
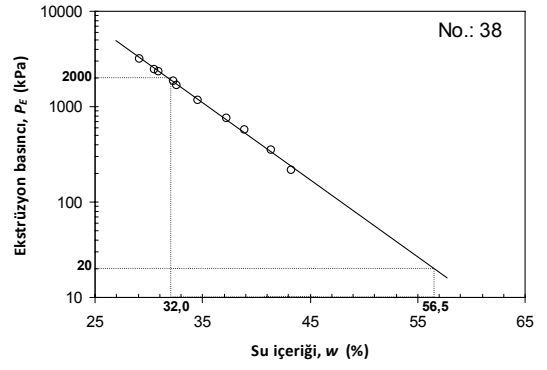
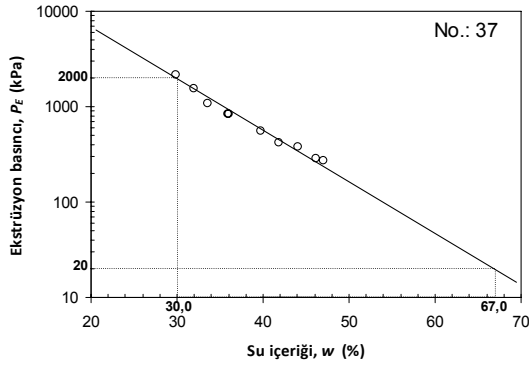
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



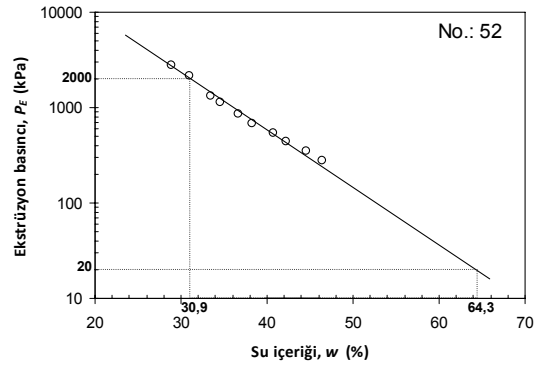
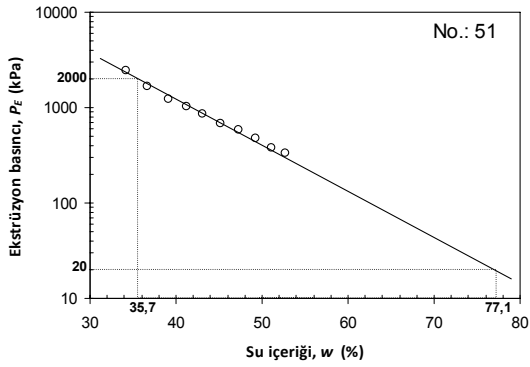
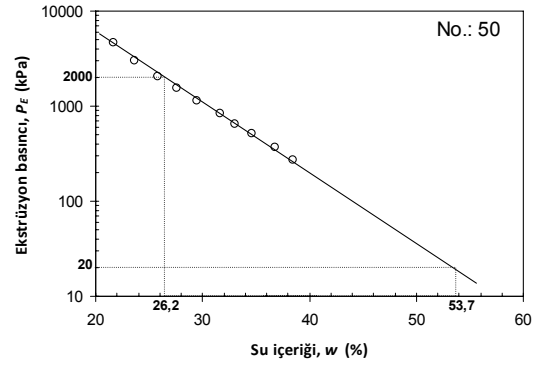
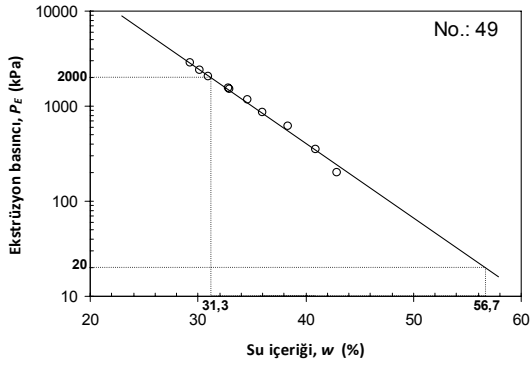
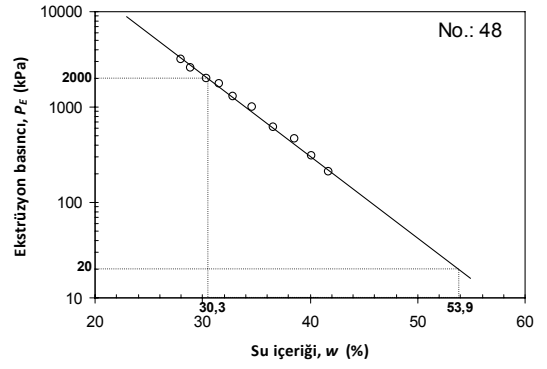
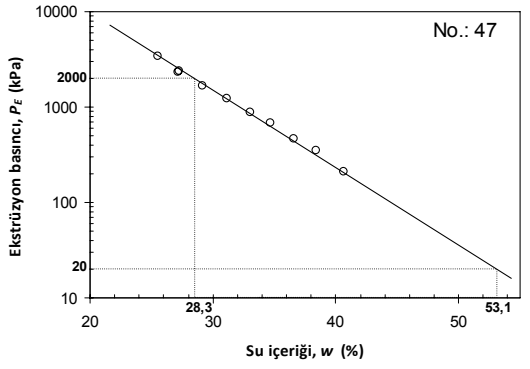
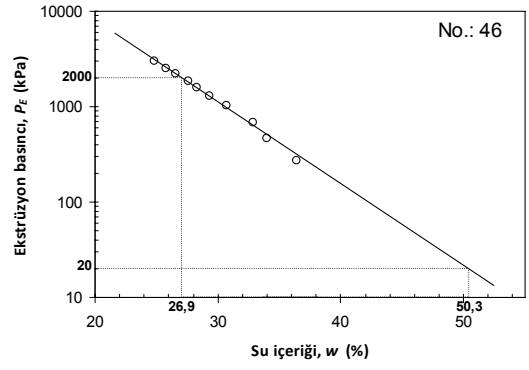
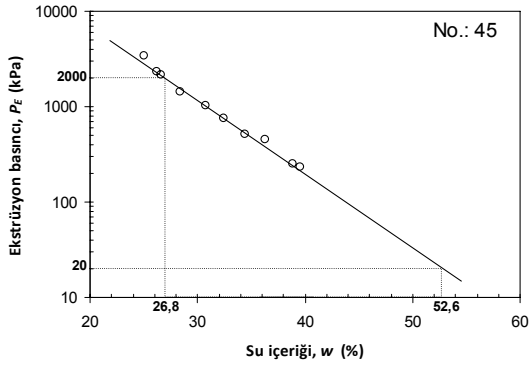
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



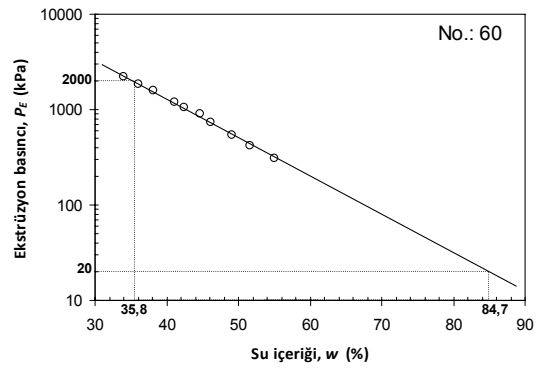
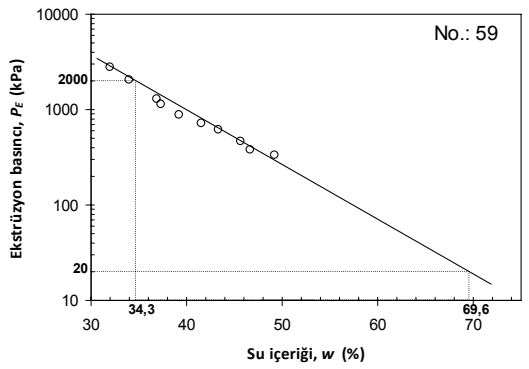
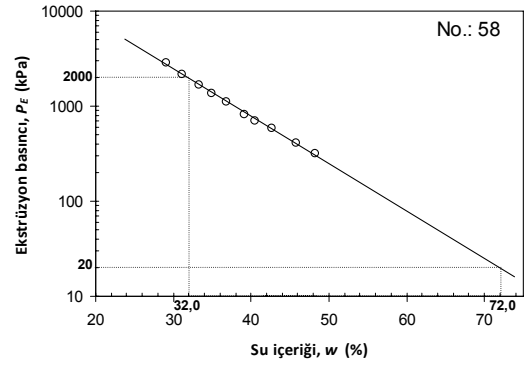
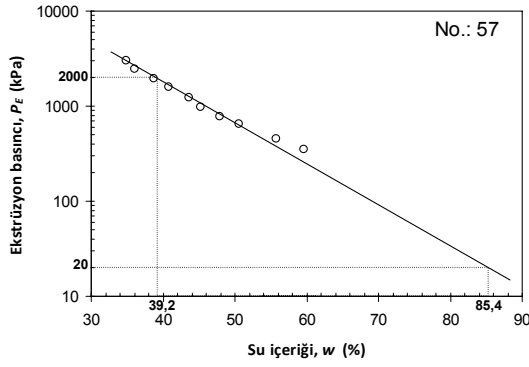
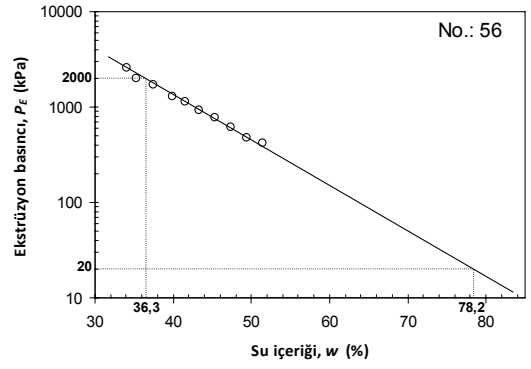
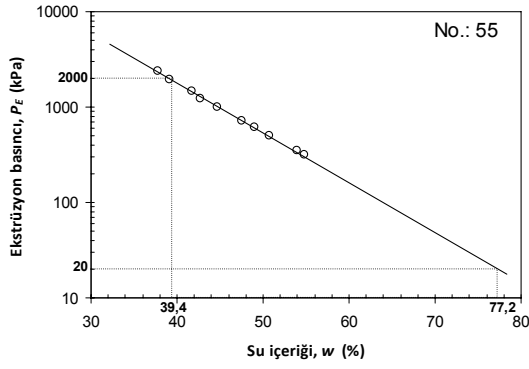
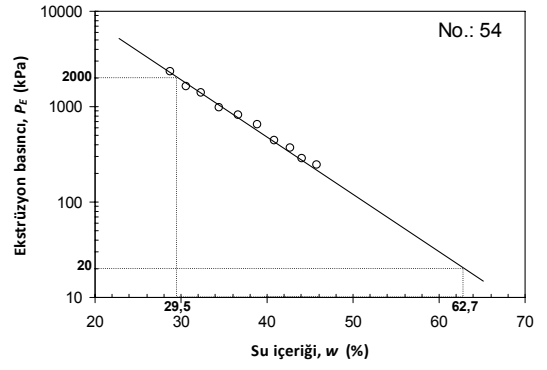
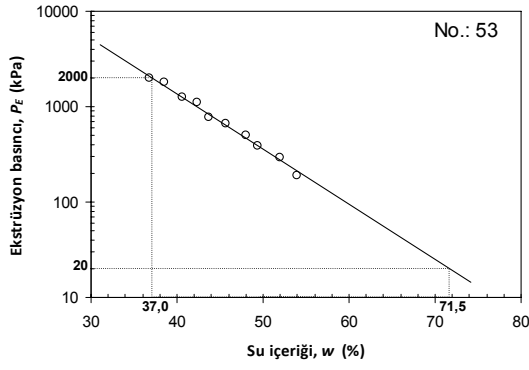
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



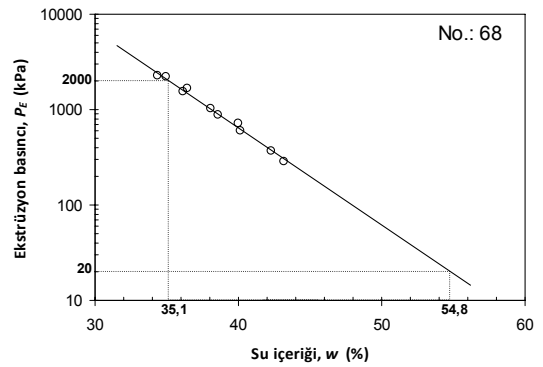
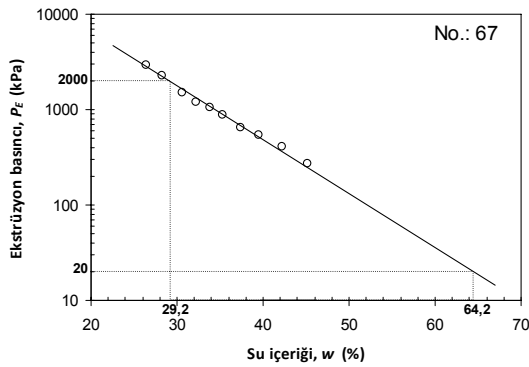
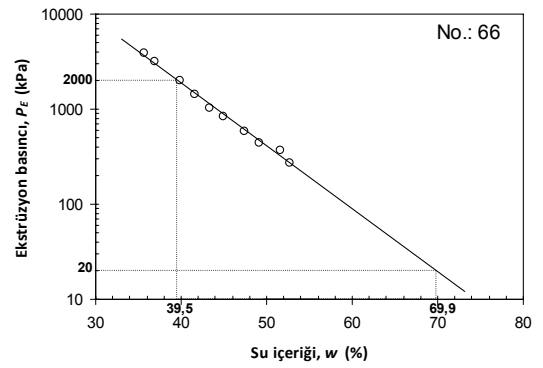
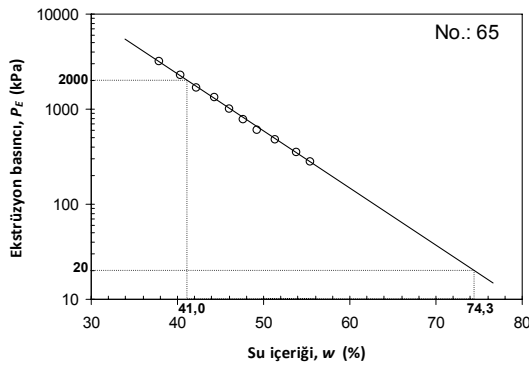
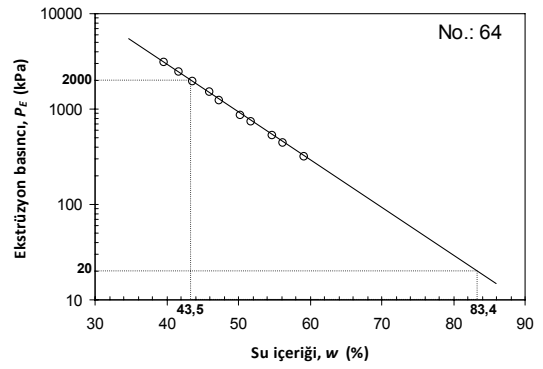
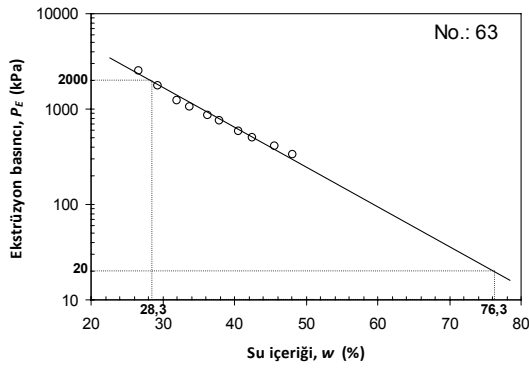
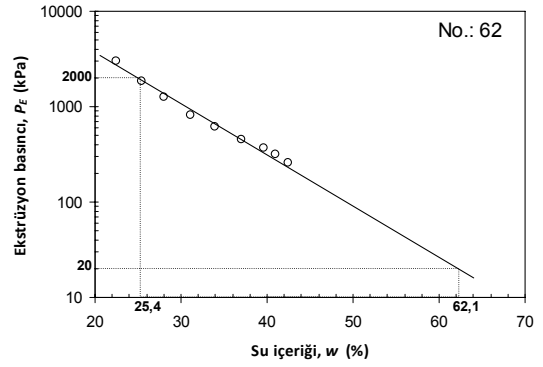
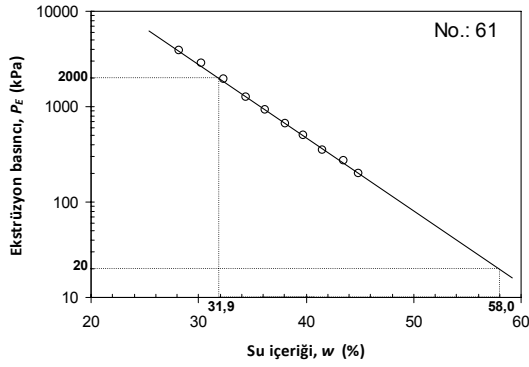
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



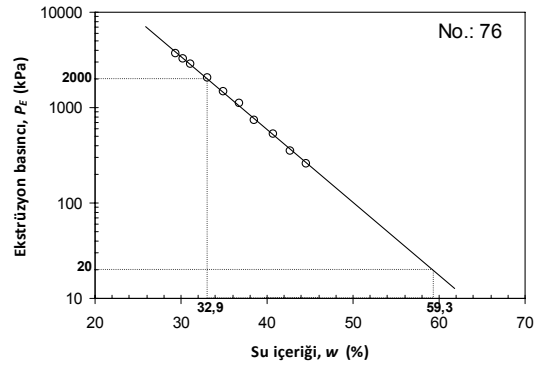
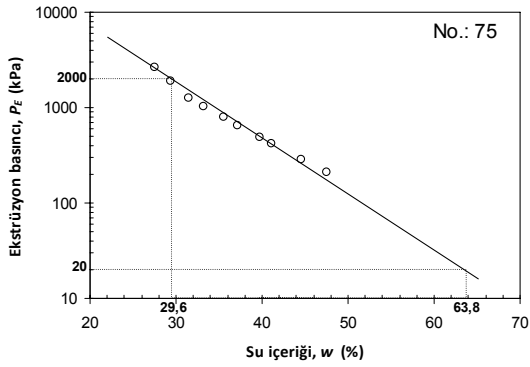
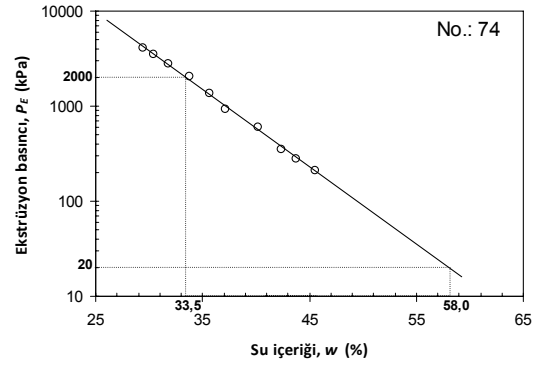
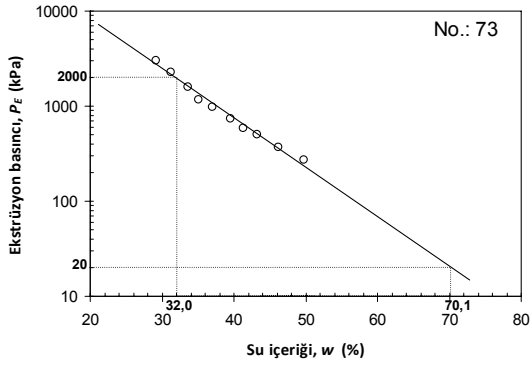
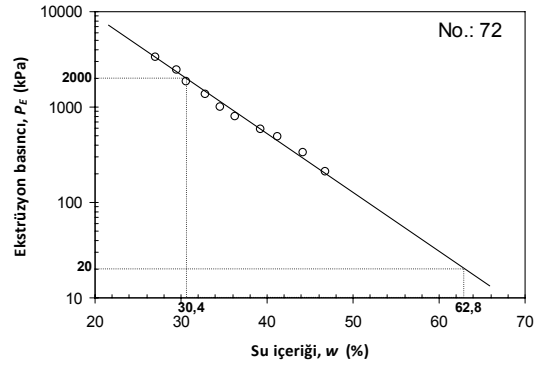
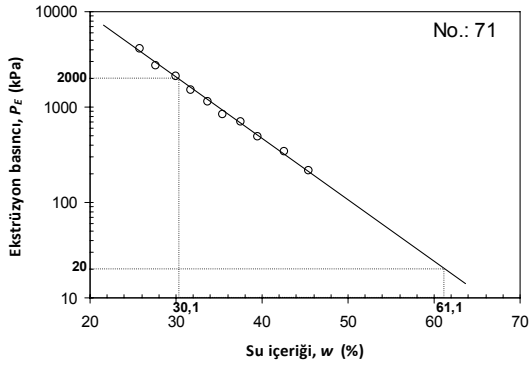
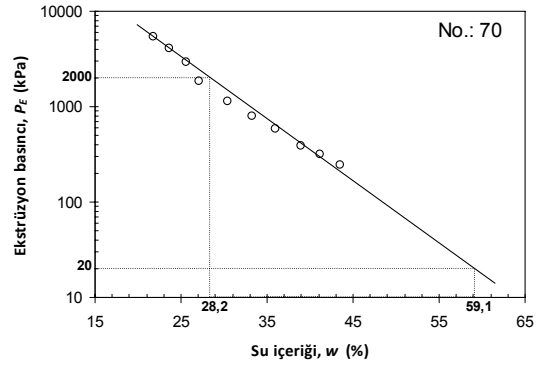
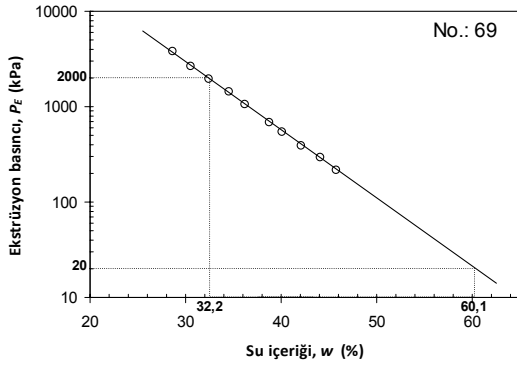
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



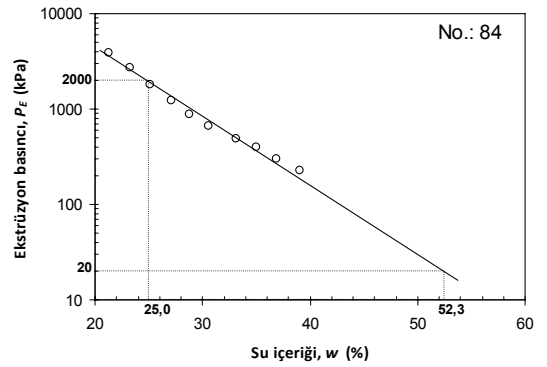
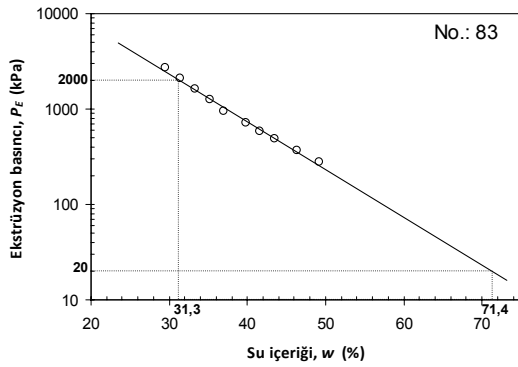
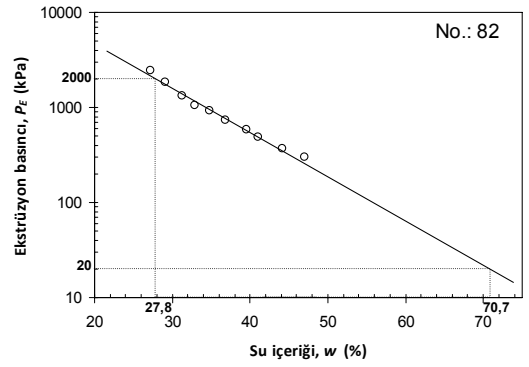
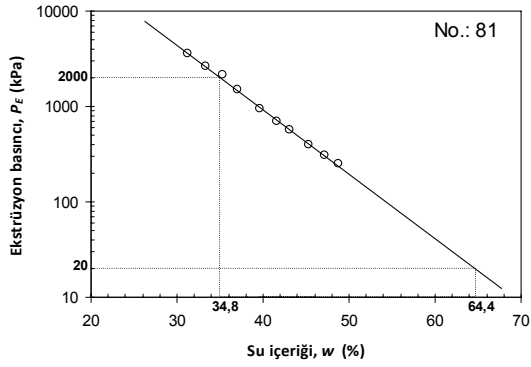
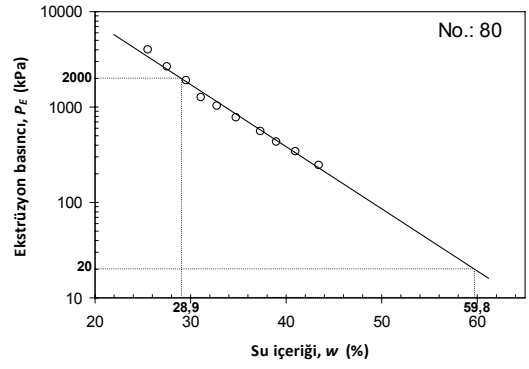
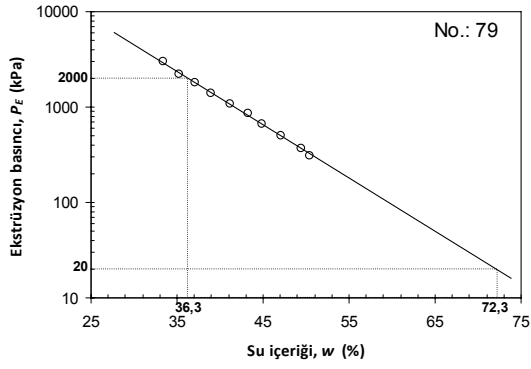
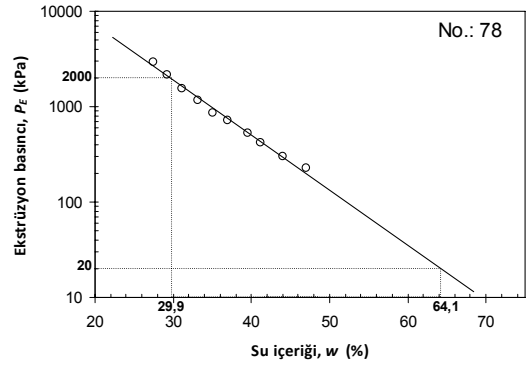
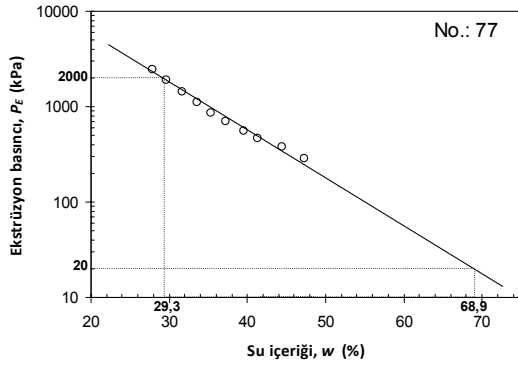
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



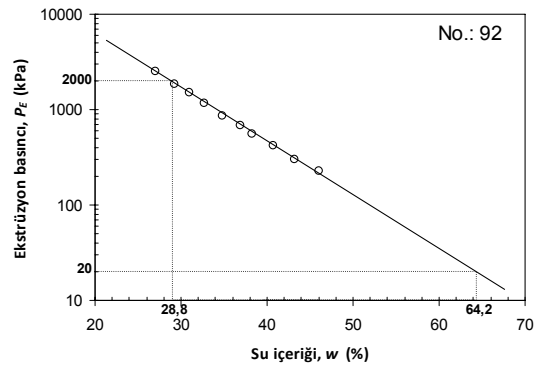
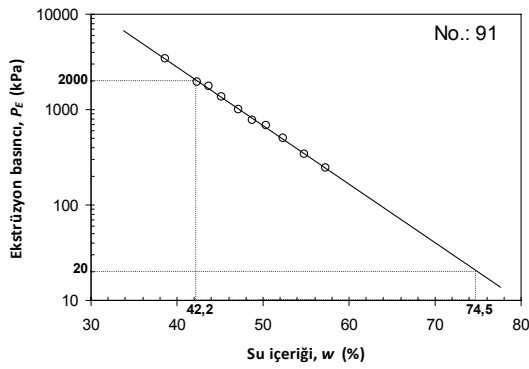
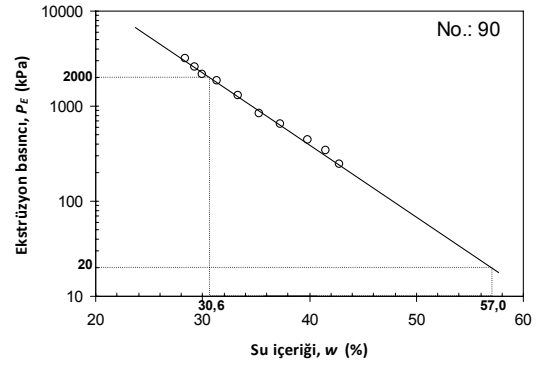
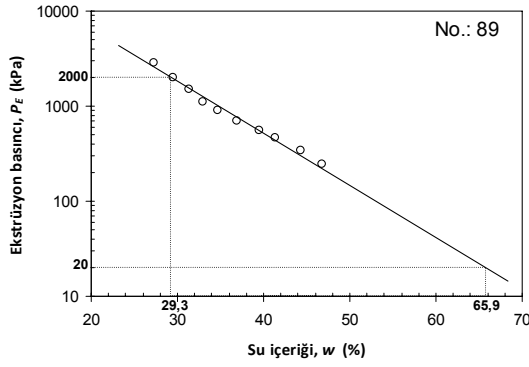
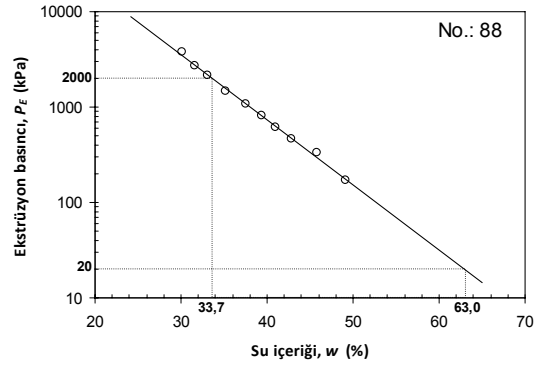
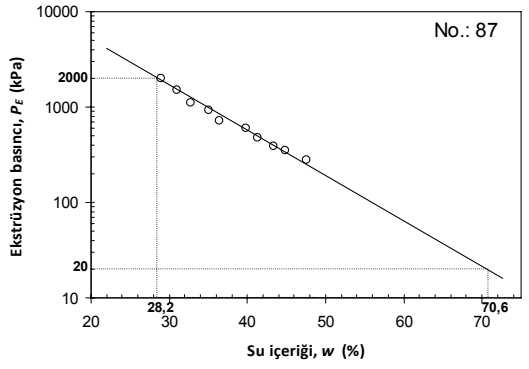
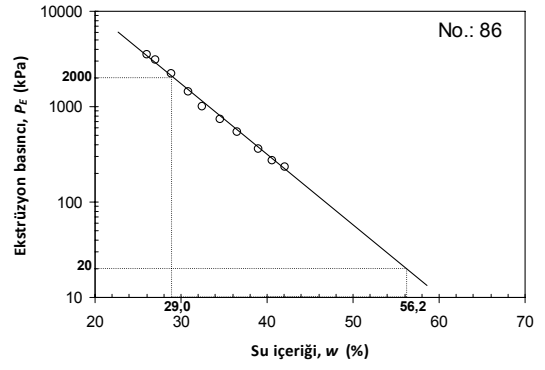
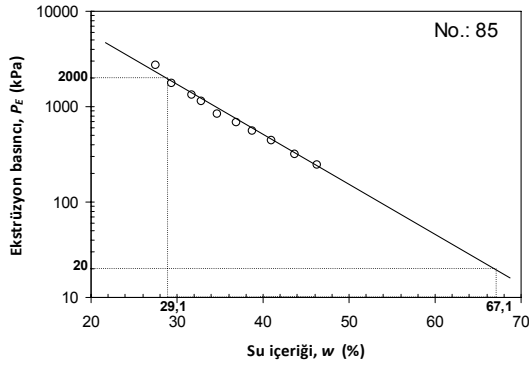
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



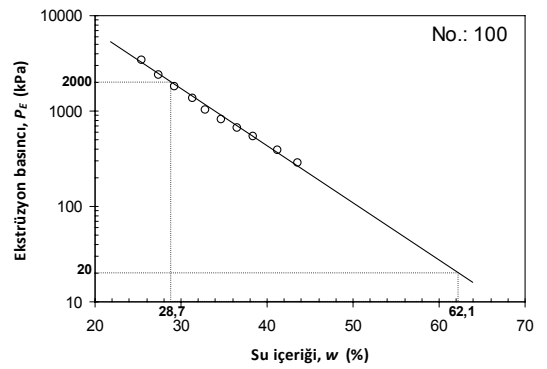
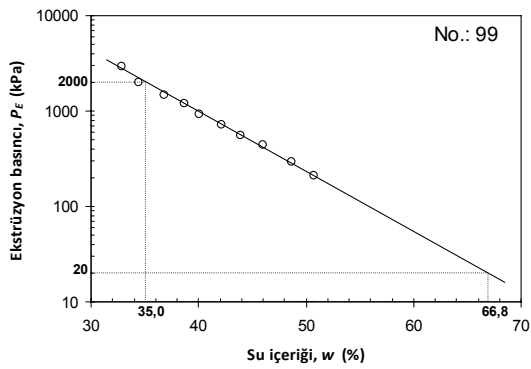
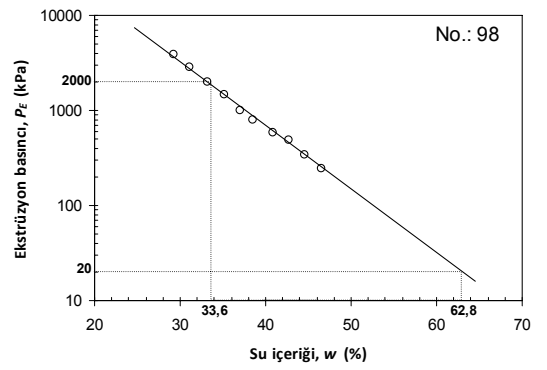
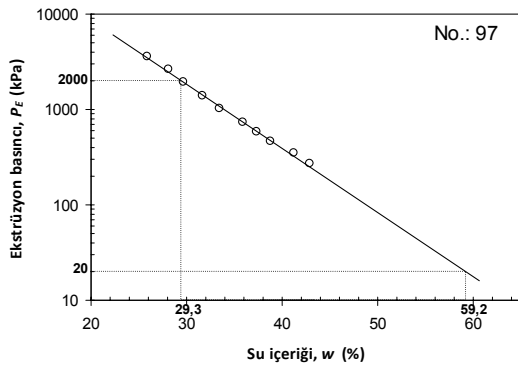
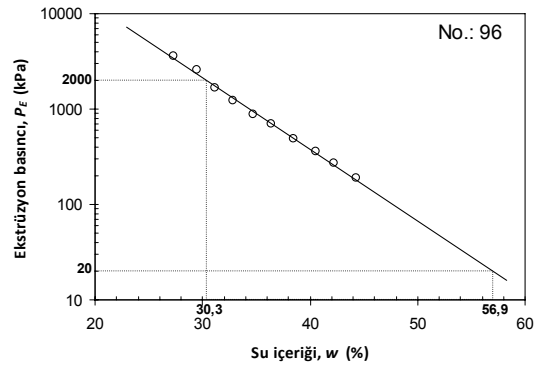
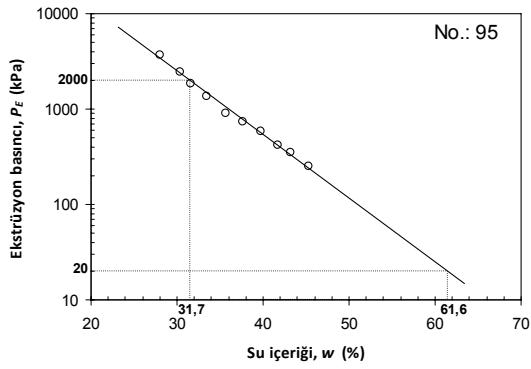
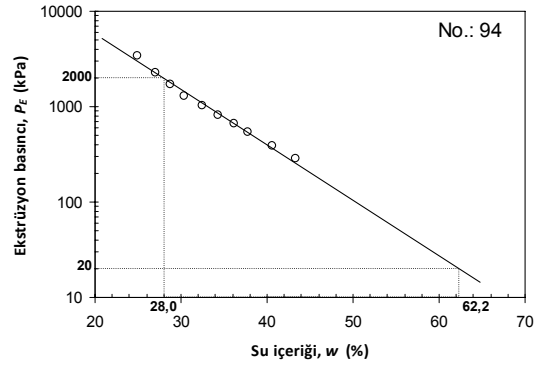
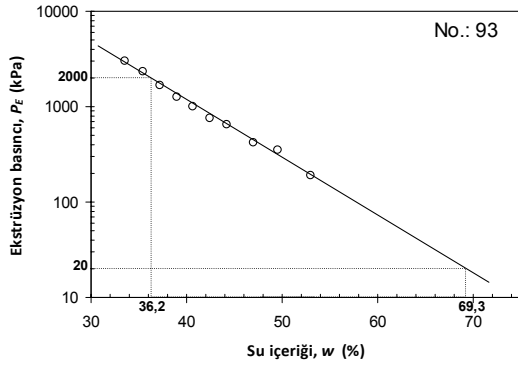
Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



Ek 2 Ters ekstrüzyon deneyi sonuçları (devam)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa TOPCU

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 29/10/1983

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Kocatepe Mimar Kemal Lisesi, 2000

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2004)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Şubat 2009 - Ekim 2011)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., 2005 - halen devam ediyor