

## SU, TUZ VE AĞIR METAL ETKİSİNDEKİ BOLU KAOLİNİNİN; LİKİT LİMİT, PLASTİK LİMİT VE HİDROMETRİ ANALİZİ YAPILARAK KAOLİNİN AKTİVİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

M. Haluk ÇELİK\*, Yücel GÜNEY\*\*, Hakan KOYUNCU\*\*, Yılmaz KOÇAK\*\*\*

\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

\*\*Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, ESKİŞEHİR

\*\*\*Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Meslek Yüksekokulu, KÜTAHYA

### ÖZET

Atık depolama alanlarında geçirimsiz alt tabakanın tasarlanması önemlidir. Çünkü atıktan gelen sızıntıların miktarına ve muhtevasına bağlı olarak bu alt tabaka malzemelerinin davranışları değişebilir. Uzun yıllar bu kirli sıvılar ile temas edecek olan alt tabakaların geoteknik ve fiziksel özellikleri değişecektir. Bunun sonucu olarak da başlangıç şartlarına göre dizayn edilmiş geçirimsiz alt tabakaların servis ömrü kısalabilir; depolama bölgesinde sızma, çatlama, kırılma, büzülme gibi çeşitli problemler ortaya çıkabilir ve geçirgenliğinin artması ile yer altı suları için fiziksel ve kimyasal bir tehlike oluşabilir. Bu tehlikenin önlenmesi için alt tabakaların, kirleticilerin etkileşimi sonucundaki davranışlarının bilinmesi gereklidir.

Söğüt Seramik Fabrikasından temin edilen; Bolu yöresine ait kaolin kili üzerinde yapılan laboratuvar çalışmalarında su, tuz (NaCl , KCl ) ağır metallerin (ZnCl<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O) Atterberg limit değerleri araştırılmıştır. Bu değerler sonucu bulunan plastisite indisinin kil yüzdesine oranlanması ile kaolinin aktivite özellikleri tesbit edilmiştir.

Sonuç olarak bu değerler birbiri ile kıyaslanarak su, tuz ve ağır metallerin Bolu yöresine ait kaolin kilinin aktivitesi  $A_{su} = \%15$ ,  $A_{NaCl} = \%23$ ,  $A_{KCl} = \%28$ ,  $A_{ZnCl_2} = \%24$ ,  $A_{CuCl_2*2H_2O} = \%27$  olarak tesbit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Ağır Metal , Likit Limit , Plastik Limit

## RESEARCH ON KAOLINITE ACTIVITY INFLUENCE OF BOLU KAOLINITE WHICH WAS COMBINED SEPERATELY WITH WATER, SALT AND HEAVYMETALS BY TESTING LIQUID LIMIT, PLASTIC LIMIT AND HYDROMETER ANALYSIS

### ABSTRACT

It is important that impermeable bottom liner is designed in waste storages. Because, the behaviour of bottom liner materials can be change according to the amounts of leachate or including of leachate. The se geotecnic and physical properties of bottom liner that will contact with these polluted liquids formany years will change. As a result, service life of impermeable bottom liner designed according to beginning conditions can become shorter; its carrying resistance can diminish, various problems can exist in storage area because of composible leakage, cracks, refraction, shrinks, and there might be some physical and chemical risks for groundwater if permeability increases. The behaviour of bottom liner after interaction with pollutants should be known, in order to prevent these risks.

Atterberg limit values of salt, water amol heavymetals had been reseached in the laboratory study on Bolu Region kaolinite clay which was provided from Söğüt Ceramic factory. As a result of this research the proportion of plasticity index to clay percentage and activity indication of kaolinite were determined.

As a result these values were compaired with each other and the activity of water, salt heavymetals of Bolu Region kaolinite clay were determined as  $A_{su} = \% 15$ ,  $A_{NaCl} = \% 23$ ,  $A_{KCl} = \% 28$ ,  $A_{ZnCl_2} = \% 24$ ,  $A_{CuCl_2*2H_2O} = \% 27$ .

**Key Words :** Heavymetal , Liquid Limit , Plastic Limit

### 1. GİRİŞ

Günümüzde, evsel ve endüstriyel atıkların depolanması oldukça problemsiz ve çok ucuz olarak görülmektedir. Bunun nedeni genelde yerel yönetimlerin duyarsızlığı ve ekonomik gelişmişlik seviyesidir. Çünkü sızıntı sularıyla yer altı sularının kirlenmesi veya izolasyonun tam olarak yapılmaması, çevre ve halk sağlığı açısından potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır.

Evsel ve endüstriyel atıklardan sızan sızıntı suları çok çeşitli maddeyle çalışan fabrika atıkları, asidik ve bazik özellikte çözeltiler olmasına rağmen doğrudan zemine veya depolama çukurlarına verilebilmektedir. Bu atıkların içerisinde ağır metaller, tuzlar, yağlar ve organik bileşikler bulunmaktadır. Bu atıklar zemin içerisinde birçok kimyasal ve fiziksel etkileşimler meydana getirerek; zeminde yapısal olarak sızma, çatlama, kırılma ve büzülme gibi hasarlar oluşturmaktadır.

Bu gibi hasarları önlemek için depolama alanlarında geçirimsizliğin sağlanması gerekmektedir. Geçirimsiz tabakaların yapımı için de kil alt tabakaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada Söğüt Seramik Fabrikasından temin edilen; Bolu yöresine ait kaolin kilinin aktivite değerleri araştırılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Das, M.B., 1984 'te depolama sistemlerinde atık-sıvı-zemin etkileşimi önemli olmaktadır. Çünkü üç fazlı etkileşim ile malzemelerin kimyasal, fiziksel ve jeoteknik özellikleri değişebilmektedir. Bunun da en önemli nedeni, atık ve sıvı içerisindeki kimyasal ve biyolojik parametrelerin zemin üzerindeki olumsuz etkileridir. Yapılacak depolama, atık malzemelerin özelliklerine göre tasarlanmalıdır. Tasarım için gerekli olan kriterler, depolama sırasındaki ve sonrasındaki atık malzemelerin davranışına ve içerdiği zararlı maddelere bağlıdır. (1)

Hassini, S., 1992'de dolgu alanlarının tasarımında, dizayn ve yapım arazi seçiminden sonra gelir. Dizayndaki ilke, alanın çevresel jeoteknolojisi ve yapılabiliğidir. Bunu depolama alanının mukavemeti, stabilitesi ve geçirimsizliği izlemektedir. (2)

Wisconsin eyaletinde, geçirimsiz tabakaların yapımı için kil alt tabakaları kullanılmıştır. 200 nolu elekten geçen kil malzemelerin %50'sinden daha azı, %30 veya daha fazla plastisite indisi içermektedir. Bu kilin maksimum laboratuvar hidrolik iletkenliği  $1.10^{-7}$  cm / sn dir. Kil tabakası 20,3 – 30,5 cm kalınlığındadır %90 dan az sızıntıya maruz kaldığında toplayıcı sistem kullanılacak şekilde dizayn edilerek, bu alt tabaka ile teması önlenmiştir. (3)

Tuncan, Ahmet., Erkilavuz, Deniz., Tuncan, Mustafa., Güney, Yücel., 1997'de çöp depolama alanları endüstrileşmiş ülkelerde yer altı suyunu ve zeminini kirleten potansiyel bir kaynaktır. Atıktan sızan sızıntı suyu, çözünebilir ve askıda kalabilen kirleticileri geçirimsiz kil tabakasına taşıyan bir vasıttır. Dolayısıyla, geçirimsiz alt tabaka ve üst kaplama sisteminin dizaynı çevresel riskleri azaltmada oldukça önemlidir. Kil zemin atık depolama dizaynında düşük permeabilitesinden ve düşük maliyetinden dolayı tercih edilmektedir. Atık sızıntısından yer altı suyunu koruyacak olan tabaka sistemi depolama alanının en önemli bileşenidir. Depolama alanı tabakasındaki kil tabakası,

sızıntıdan oluşan kirleticilerin yer altı suyunu ve zeminin kirlenmesini korumak için kullanılır (4)

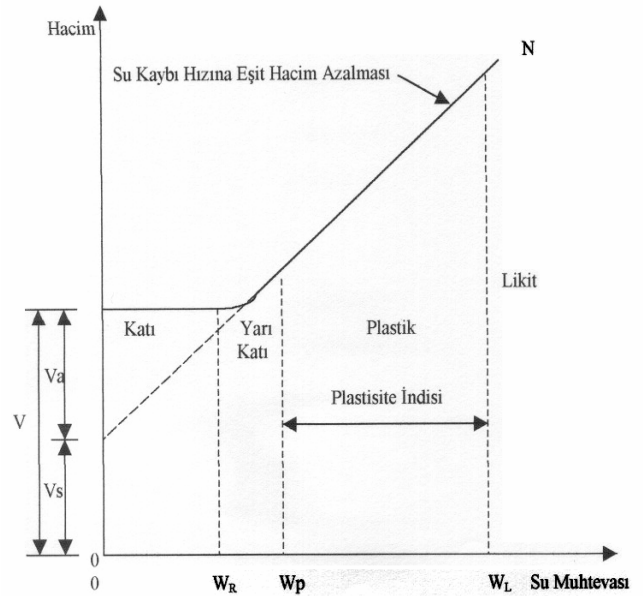
## 3. MATERYAL VE METOT

**3.1. MATERYAL :** Kıvam limitleri hakkında genel bilgi ve araştırmada kullanılan kaolin, su, tuz ve ağır metallerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

### 3.1.1. KIVAM LİMİTLERİ HAKKINDAKİ GENEL BİLGİ

Kıvam limitleri zemin mekaniğinde kilin su muhtevasına tabi olarak fiziki durumda meydana gelen değişiklikleri ifade ederler.

İsveçli bir Ziraat bilgini olan Atterberg tarafından su-kil karışımının kıvamdaki değişiklikler 1911'de şekil.1'deki gibi tariflenmiştir.



Şekil.1 Kıvam Limitleri (5)

Yüzey ve kenarlarında elektriksel yük taşıyan kil zerreleri ve mıknatıs gibi pozitif ve negatif yüklü su molekülleri ile sıkı bir ilişkiye girmektedir. Zemindeki suyun artması ile bitişik partiküllerin birbirlerine olan tesirleri azalacak zeminlerin çoğu likit gibi davranacaktır. Suyun azlığı veya çokluğu, kıvamın katıdan akışkana kadar değişmesine neden olmaktadır. (5)

Zeminin tabii su muhtevasının kıvam limitleri ile karşılaştırılması bize o zemin mukavemeti hakkında bir fikir vermektedir. (6)

Ayrıca, kıvam limitleri zeminin plastisitesine göre sınıflandırılmasını sağlamakta, ince daneli zeminlerin yükleme tarihçesi, su geçirgenlik özellikleri, değişik amaçlar için inşaat malzemesi olarak seçilmesi, yükler altında sıkışması, şişme potansiyeli ile arazi sıkıştırma ve çalışma koşulları yönünden çok yararlı ön bilgiler vermektedir. Genel olarak zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmaktadır. İnce daneli zeminlerin plastisite

normal killer, 1,25' den büyük olanlar ise aktif killer olarak kabul edilmektedir. (6)

Aktivite büyüdükçe zeminin daha problemli olacağı kabul edilir. (7)

**3.1.2. Kaolin:** Bu çalışmada alt tabaka malzemesi olarak doğal killer yerine kaolin kili kullanılmıştır. Çünkü bölgemizdeki doğal killer içerisinde bir hayli yüksek oranda kaolinit bulunmaktadır. Kullandığımız kaolin Söğüt Seramik Fabri-

Tablo 1. Bolu Kaolininin X-Ray elemental analizi ile belirlenen kimyasal birleşimleri (%) :

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	Mn <sub>2</sub> O	KK	CO <sub>2</sub>
Kaolini t	51.52	28.79	3.13	0.82	1.23	0.07	2.51	0.09	0.02	0.004	0.04	9.60	1.03

Tablo 2. Bolu Kaolinin Toplam Metal Miktarı (mg / kg) :

	Al	As	Cu	Zn	Fe	Cd	Ca	Co	Pb	Cr	Mg	Mn	Mo	Ni	Na	K
Kaolini	123750	<5	280	52	7550	<0.5	770	22	136	405	1230	870	10	280	3000	6000

indisinin, kil yüzdesine (0,002 mm.den küçük daneler miktarı) oranı zeminin aktivite katsayısı olarak tanımlanmaktadır. (6)

$$A = \frac{I_p}{\text{Kil Yüzdesi}}$$

kasından temin edilmiş olup, Bolu yöresine aittir. Öğütülmüş olarak elde edilen kaolin 110 °C etüvde bekletildikten sonra kullanılmıştır.

Söğüt Seramik Fabrikasında yapılan analizler sonucu kaolinin özellikleri tablo 1 ve tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneyde Kullanılan Tuzlar :

Kullanılan oran (Normalite)	Formülü	Kullanılan oran (Molarite)	Mol ağırlığı (g / mol)	Su içerisinde çözülün miktar
1 N	NaCl	1000mM=1 M	58.44	58.44g / 1000ml
1 N	KCl	1000mM=1 M	74.55	74.55g / 1000ml

Tablo 4. Deneyde Kullanılan Ağır Metaller :

Kullanılan oran (ppm)	Formülü	Kullanılan oran (Molarite)	Mol ağırlığı (g / mol)	Su içerisinde çözülün miktar
4000 ppm	CuCl <sub>2</sub> *2H <sub>2</sub> O	27.68mM=0,02768M	170.48	10.72g / 1000ml
4000 ppm	ZnCl <sub>2</sub>	61.2mM=0.0612M	136.28	8.34g / 1000ml

Aktivite katsayısı zemin içindeki kil minerallerinin cinsi hakkında fikir vermektedir. Buna göre kaolinin aktivite katsayısı 0,38 olarak belirlenmiştir. (6)

ÖNALP, Akın, 1997'ye göre kaolinin aktivitesi 0,4 – 0,5 arasında belirtilmiştir. (7)

Aktivite katsayısı 0,75'den küçük olan killer aktif olmayan killer, 0,75 – 1,25 arasında olanlar

Bu kimyasal bileşimlere baktığımızda, en fazla %51.52 ile SiO<sub>2</sub> kimyasal bileşimi ve 123750 mg / kg Al. metali olduğu görülmektedir.

**3.1.3. Çeşme Suyu :** Eskişehir su ve kanalizasyon idaresi tarafından sağlanan pH' ı 8,25 olan çeşme suyu kullanılmıştır.

**3.1.4. Tuzlar :** 1 N (M) olarak hazırlanan NaCl ve KCl tuzları tablo 3'de verilmiştir

**3.1.4. Ağır Metaller :** 4000 ppm olarak hazırlanması  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{ZnCl}_2$  ağır metalleri tablo 4’de verilmiştir.

## 3.2. Metod

### 3.2.1 Deneylerin Yapılışı :

Deneyler Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü, zemin laboratuvarında uygulanmıştır.

Çalışmada aktivitenin belirlenebilmesi için Likit Limit , plastik limit ve hidrometri analizi yapılmıştır.

#### 3.2.1.1. Likit Limit Deneyinin Yapılışı:

Öğütülmüş olarak elde edilen kil 1 gün etüvde bekletilip, her deney için bundan 250 gr. ağırlığında bir kısım alınmıştır. Daha sonra porselen bir kap içerisine konularak çeşme suyu, 1 N olarak hazırlanmış NaCl ve KCl tuzları ve 4000 ppm olarak hazırlanmış  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{ZnCl}_2$  ağır metalleri porselen kap içerisindeki kaolinle homojen bir karışım elde edilinceye kadar palet bıçağıyla iyice karıştırılmıştır. Bu işlem, her biri için beşer kez tekrarlanmıştır. Elde edilen karışımlardan bir miktar alınarak likit limit cihazı kabı içerisine konulmuştur. Daha sonra yüzey kaba paralel olarak düzlenip, oluk açma bıçağı ile mentaşenin ortasından geçen çap boyunca, kap içerisinde hareket ettirilerek numune ikiye bölünmüştür. Böylece numunenin ortasında “V” kesitli bir oluk açılmıştır. Daha sonra krank kolu her deneyde aynı aralıklarla (sn.de 2 devir) çevrilmiştir. İki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13mm. boyunca birbirine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülmüştür. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan bu düşüş sayısı kaydedilmiştir.

Oluğun kapanmış olan bu kısmından bir miktar alınarak cam kaplar içine konulmuştur. Aynı numune kullanılarak ve su muhtevası gittikçe arttırılarak vuruş sayısı 10 ile 100 arasında olacak şekilde değerler alınmıştır.

Her denemede elde edilen ve cam kaplar içerisine yerleştirilen numunelerin ağırlıkları tartılmış ve etüvde 110 °C de 24 saat bekletilmiştir. Etüvden alınan numuneler tekrar tartılarak kaydedilmiştir.

Her denemeden sonra elde edilen su muhtevasına karşı düşüş sayıları logaritmik bir grafik kağıdı üzerine işaretlenmiştir. Bu noktalara en uy-

gun doğru çizilmiştir. Elde edilen akış doğrusu üzerinde 25 düşüş karşısındaki su muhtevası kaolinin likit limit değerini vermiştir.

#### 3.2.1.2 Plastik Limit:

Likit limit için porselen kapta hazırlanan karışımlardan numuneler alınmıştır. Numuneler ele yapışmayacak hale gelene kadar bekletilip daha sonra bir cam yüzey üzerinde yuvarlatılmıştır. Numunenin çapı 3 mm. ye düştüğü anda çatlama ve kopma belirlenen kısımlar cam kaplara alınarak tartılmış ve etüvde 110 °C’de 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra etüvden alınan numuneler tartılarak kaydedilmiş ve hesapları yapılarak plastik limit değeri bulunmuştur.

#### 3.2.1.3 Hidrometri Analizi:

Bolu yöresine ait 110 °C etüvde bir gün bekletilmiş kaolinden alınan numune 200 Nolu elekten geçirilerek 50 gr. alınmıştır. Alınan numune; 125 ml sodyum metafosfata yatırılarak bir gün beklenmiştir. Elde edilen karışıma yaklaşık 400–500 ml. su dökülerek mekanik karıştırıcıda homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Karışım, 1000 ml. kapasiteli mezür içerisine mikser kabında hiç kalmayacak şekilde ilave su katılarak konulmuştur. Mezürdeki karışım 1000 ml oluncaya kadar su eklenmiştir. Mezürün ağzı kapatılarak birkaç kez ters – yüz edilmiş ve homojen bir karışım sağlanmıştır. Daha sonra 15<sup>11</sup>, 30<sup>11</sup>, 1<sup>1</sup>, 2<sup>1</sup>, 4<sup>1</sup>, 8<sup>1</sup>, 15<sup>1</sup>, 30<sup>1</sup>, 1<sup>H</sup>, 2<sup>H</sup>, 4<sup>H</sup>, 8<sup>H</sup> ve 24<sup>H</sup> sürelerinde hidrometri değerleri okunmuştur. Tablodaki değerler hesaplanarak gronölometri eğrisi çizilmiş ve 200 Nolu elek altında kalan, kilin yüzdesi olarak bulunmuştur.

**3.2.2 Deneyde kullanılan cihazlar :** Deneyde kullanılan cihazlar Likit limit, plastik limit ve hidrometri analizi için ayrı ayrı aşağıdaki gibi verilmiştir.

**3.2.2.1. Likit Limit deneyi :** Palet bıçağı, porselen kap, likit limit cihazı, oluk açma bıçağı, numune kabı (cam), etüv, terazi, piset (plastikten).

**3.2.2.2. Plastik Limit Deneyi :** Cam bir plaka, numune kabı (cam), etüv, terazi (0.01 gr hassasiyetli).

**3.2.2.3. Hidrometri analizi :** Hidrometre, mezür (1000 ml ), termometre, mekanik karıştırıcı, deney elekleri, terazi, etüv, kronometre, piset (plastikten ).

### 3.3. Deney Kuramı ve Değerlendirme

Bolu yöresine ait olan kaolinin hidrometri analizi yapılmış, gronulometri eğrisi çizilmiş ve 200 Nolu elek altında kalan kil oranı %78 ve silt oranı %22 olarak belirlenmiştir.

Atterberg kıvam limitleri için, kaolin kili; su, tuz ve ağır metallerle karıştırılmış, bir gün bekletilmiş ve etüve konulmuştur. Daha sonra likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır.(8)

Yapılan likit limit deneyi sonucu elde edilen veriler ve ortalamaları tablo 5’de, plastik limit deneyi sonucu elde edilen veriler ve ortalamaları da tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. Likit Limit Deney Sonuçları:

Karışımlar Denemeler	Kaolin + Su (%)	Kaolin + 1N NaCl (%)	Kaolin +1N KCl (%)	Kaolin +4000p pm.ZnCl <sub>2</sub> (%)	Kaolin+ 4000ppm. CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O (%)
1	32	40	48	42	43
2	32	40	49	42	43
3	33	39	48	41	43
4	32	39	48	42	43
5	33	38	48	41	43
T <sub>j</sub>	162	196	241	208	215
N <sub>j</sub>	5	5	5	5	5
Y <sub>i</sub>	32	39	48	42	43

Tablo 6. Plastik Limit Deney Sonuçları:

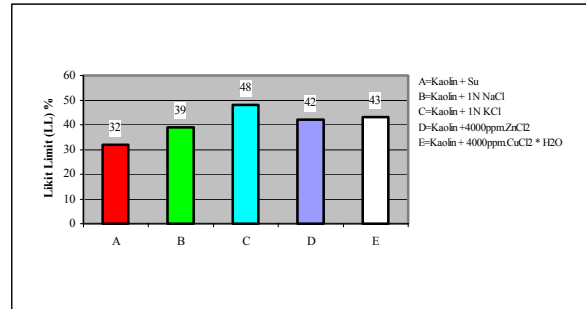
Karışımlar Denemeler	Kaolin + Su (%)	Kaolin + 1N NaCl (%)	Kaolin + 1N KCl (%)	Kaolin +4000p pm.ZnCl <sub>2</sub> (%)	Kaolin+ 4000ppm. CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O (%)
1	20	19	26	23	22
2	20	21	26	22	22
3	20	22	26	23	23
4	20	21	26	23	22
5	20	21	26	23	22
T <sub>j</sub>	100	104	130	114	111
N <sub>j</sub>	5	5	5	5	5
Y <sub>i</sub>	20	21	26	23	22

Tablo 7. Kıvam Limitleri ve Aktivite Değerleri:

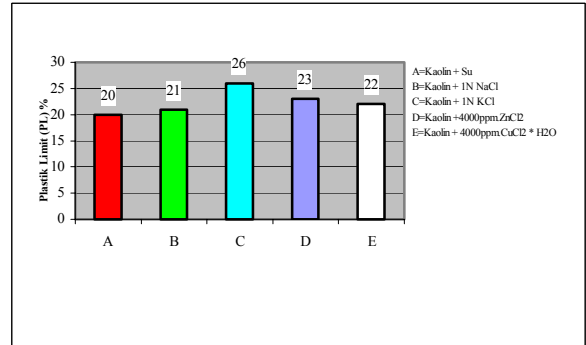
Karışımlar	Kıvam Limitleri			Aktivite (A) %
	Likit Limit (LL) %	Plastik Limit (PL) %	Plastisite İndisi (IP) %	
Kaolin + Su	32	20	12	27
Kaolin + 1N NaCl	39	21	18	24
Kaolin + 1N KCl	48	26	22	28
Kaolin +4000ppm.ZnCl <sub>2</sub>	42	23	19	23
Kaolin + 4000ppm.CuCl <sub>2</sub> * H <sub>2</sub> O	43	22	21	15

Sonuçlara göre likit limit (LL) değerlerinden plastik limit (PL) değerleri çıkarılarak plastisite indisi hesaplanmıştır (IP = LL-PL). Kıvam limitleri (LL, PL, IP) ve kaolin kilinin plastisite indisi değerlerinin, hidrometri analizi sonucu belirlenmiş olan kil yüzdesine (% 78) bölünmesi ile elde edilen aktivite değerleri (A= IP / kil yüzdesi) Tablo 7’de verilmiştir.

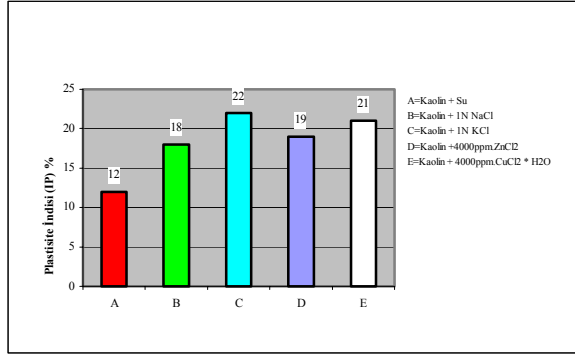
Tablo 7’deki verilere göre ilgili sütun grafikleri ise şekil 2, şekil 3, şekil 4 ve şekil 5’de verilmiştir.



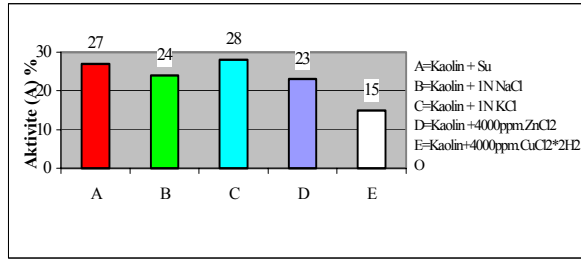
Şekil 2. Likit Limit Deney Sonuçlarının Sütun Grafiği



Şekil 3. Plastik Limit Deney Sonuçlarının Sütun Grafiği



Şekil 4. Plastise İndisi Sonuçlarının Sütun Grafiği

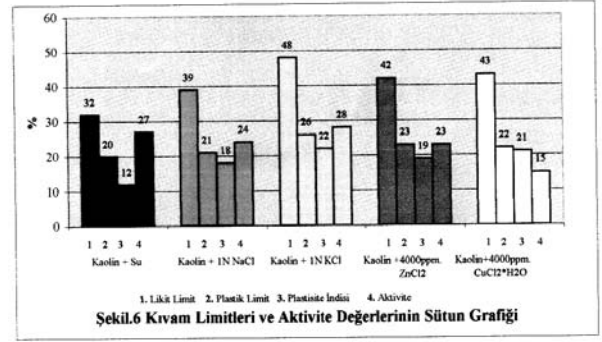


Şekil 5. Aktivite Sonuçlarının Sütun Grafiği

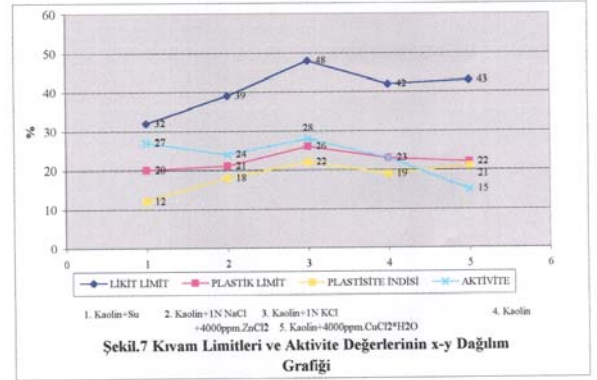
Deney sonuçlarını gösteren sütun grafikleri incelendiğinde en yüksek değerlerin; likit limitte % 48, plastik limitte % 26, plastisite indisinde % 22 ve aktivite değerinin de % 28 ile 1N KCl'e ait olduğu görülmüştür.

Aşağıda, kıvam limitleri ve aktivite değerleri arasındaki ilişkinin çubuk bazında grafikleri şekil 6'da, x-y dağılım grafikleri ise şekil 7'de verilmiştir.

Deneysel çalışmamızı anlamlı hale getirebilmek ve kalıcı değerleri elde etmek için deneysel-



Şekil 6. Kıvam Limitleri ve Aktivite Değerlerinin Sütun Grafiği



Şekil 7. Kıvam Limitleri ve Aktivite Değerlerinin x-y Dağılım Grafiği

kuram olarak tuz ve ağır metallerin farklı değerlerinin likit limit ve plastik limit değerlerine olan etkileşimi ele alınmıştır. Buradan hareketle tek yönlü varyans analiziyle test etmek daha uygun bulunmuş, tuz ve ağır metallerin likit ve plastik limit değerlerine etkisinin olmadığı hipotezi kurulmuştur.

Deneyler 5 tekrarlı olup, likit limit ve plastik limit deneyleri için tek yönlü varyans çözümlemesi ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 8. Tek Yönlü Varyans Çözümü İçin Veri Düzeni :

Karışımlar	Kaolin + Su (%)	Kaolin + 1N NaCl (%)	Kaolin + 1N KCl (%)	Kaolin + 4000ppm ZnCl <sub>2</sub> (%)	Kaolin + 4000ppm CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O (%)	
Denemeler						
1	32	40	48	42	43	
2	32	40	49	42	43	
3	33	39	48	41	43	
4	32	39	48	42	43	
5	33	38	48	41	43	
T <sub>.j</sub>	162	196	241	208	215	Toplam
N <sub>i</sub>	5	5	5	5	5	25
$\sum_{j=1}^{n_j} Y_{ij}^2$	32	39	48	42	43	41

### 3.3.1. Likit Limit Deneylei İçin Tek Yönlü Varyans Çözümü :

Tek eksenli deney için model denklemi,

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, 4, 5$   $j = 1, 2, 3, 4, 5$  olarak kurulmuştur.

Tek Yönlü Varyans Çözümü için veri düzeni tablo 8’ de verilmiştir.

Burada;  $T_j$ ,  $j$ . Denemedeki gözlemlerin toplamı,  $n_j$ ,  $j$ . Denemedeki gözlemlerin sayısı ve  $Y_{.j}$ ,  $j$ . Denemedeki gözlemlerin ortalamasıdır.  $T_{..}$  tüm gözlemlerin genel toplamı ve  $Y_{..}$  tüm gözlemlerin ortalamasıdır.(9)

Tablo 8 yardımıyla, genel kareler toplamı:

$$KT_{genel} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N} = 673$$

Denemeler arası kareler toplamı:

$$KT_{deneme} = \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{n_j} - \frac{T_{..}^2}{N} = 667$$

Hata kareler toplamı:

$$KT_{hata} = KT_{genel} - KT_{deneme} = 6 \text{ olarak bulunur.}$$

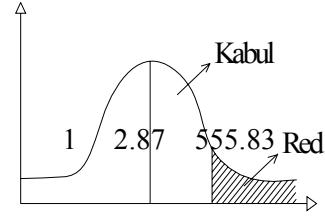
Bulunan bu değerler tablo 9’deki varyans çözüm tablosuna aktarılır.

Tablo 9. Varyans Çözüm Tablosu:

Kaynak	Sd	KT	KO
Denemeler arası $\tau_j$	4	667	166.75
Denemeler içi yada hata $\varepsilon_{ij}$	20	6	0.3
Genel	24	673	28.04

Yapılan deneylerin doğruluğunu test etmek için ‘‘F testi seçilmiştir. Buna göre hesaplama yöntemiyle ‘‘F’’ değeri;  $F_{4,20} = 555.83$  olarak bulunmuştur.

$\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi dikkate alınırsa ‘‘F’’ dağılım tablosundan  $F_{(4,20)} = 2.87$  olarak bulunur.  $F_{(Hesap)} > F_{(Tablo)}$  olduğu için, tuz ve ağır metallerin likit limit değerlerine etkisi vardır ve ilgili anlamlılık grafiği şekil 2.’deki gibi olur.



Şekil 7. F testi Grafiği ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık grafiği)

### Likit Limit Deneylei İçin Dik Doğrusal Bağıntılar

Dik doğrusal bağıntılar varyans analizinin kontrolü için, likit limit değerleri arasında kurulmalıdır. Likit limit değerleri arası serbestlik derecesi 4 olduğundan, dört adet dik doğrusal bağıntı kurulabilir. Buna göre;

$$C_m = \sum_{j=1}^4 C_{jm} \cdot T_j \quad \text{ve} \quad \sum_{j=1}^4 C_{jm} = 0 \text{ olup,}$$

$$C_m = C_{1m} \cdot T_{.1} + C_{2m} \cdot T_{.2} + C_{3m} \cdot T_{.3} + C_{4m} \cdot T_{.4} + C_{5m} \cdot T_{.5} \quad (1)$$

$$C_{1m} \cdot T_{.1} + C_{2m} \cdot T_{.2} + C_{3m} \cdot T_{.3} + C_{4m} \cdot T_{.5} + C_{5m} \cdot T_{.5} = 0 \text{ şartlarını sağlayan:}$$

$$C_1 = T_1 - T_2$$

$$C_2 = T_1 + T_2 - 2T_3$$

$$C_3 = T_1 + T_2 + T_3 - 3T_4$$

$$C_4 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - 4T_5 \text{ dik doğrusal bağıntılar olarak kurulur. Bu bağıntıların katsayıları tablo 10’da gösterilmiştir.}$$

Tablo 10. Dik Katsayılar Tablosu:

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$
$C_1$	1	-1	0	0	0
$C_2$	1	1	-2	0	0
$C_3$	1	1	1	-3	0
$C_4$	1	1	1	1	-4

Yukarıda verilen (1) denkleminde değerler yerine konarak her bir bağıntının sonuçları bulunur.

$$C_1 = -34$$

$$C_2 = -124$$

$$C_3 = -25$$

$$C_4 = -53$$

Bunlara ilişkin kareler toplamı;

$$KTC_m = \frac{C_m^2}{n \sum_{j=1}^k C_{jm}^2} \text{ ifadesi kullanılarak}$$

hesaplandığında;

$$KT C_1 = 116$$

$$KT C_2 = 1025$$

$$KT C_3 = 31$$

KT C<sub>4</sub> = 112 olarak bulunur. Her bir dik doğrusal bağıntı için hipotez testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablo 11’ de görüldüğü gibi düzenlenmiştir.

Tablo 11. Hipotez Testi

Hipotez	K.O.	K.T.	F <sub>4,20</sub> (Hesap)	F <sub>4,20</sub> (Tablo)	Hipotez Sonucu
H <sub>1</sub> : T <sub>1</sub> = T <sub>2</sub>	0.3	116	386.66	2.87	Red
H <sub>2</sub> : T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> = 2 T <sub>3</sub>	0.3	1025	3416.66	2.87	Red
H <sub>3</sub> : T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> + T <sub>3</sub> = 3 T <sub>4</sub>	0.3	31	103.33	2.87	Red
H <sub>4</sub> : T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> + T <sub>3</sub> + T <sub>4</sub> = 4T <sub>5</sub>	0.3	112	373.33	2.87	Red

Yapılan “ F ” testi neticesinde  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde hipotezler reddedilmiştir. Kaolin + Su ile Kaolin + 1N NaCl karışımının likit limit değerleri arasında fark vardır. Aynı şekilde Kaolin + Su ve Kaolin + 1N NaCl karışımlarının oluşturduğu kümenin ortalaması ile, Kaolin + 1N KCl küme ortalaması arasında likit limit değerlerinde, Kaolin + Su, Kaolin + 1N NaCl, Kaolin + 1N KCl karışımlarının oluşturduğu kümenin ortalaması ile, Kaolin + 4000ppm.ZnCl<sub>2</sub> küme ortalaması arasında likit limit değerlerinde ve Kaolin + Su, Kaolin + 1N NaCl, Kaolin + 1N KCl, Kaolin + 4000ppm.ZnCl<sub>2</sub> karışımlarının oluşturduğu kümenin ortalaması ile, Kaolin + 4000ppm.CuCl<sub>2</sub> \* 2H<sub>2</sub>O küme ortalaması arasında likit limit değerleri arasında da fark vardır. Sonuç olarak, farklı karışımlarla likit limit deneyi yapılan kaolin kilinin likit limit değerlerinin ortalamaları  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde birbirinden farklıdır.

### Likit Limit Deneyleri İçin Ortalama Güven Aralığının Hesaplanması

Yığın varyansı bilinmiyorken,  $\mu$  (popülasyon ortalaması) parametresi için güven aralığı hesaplandığında;

Aritmetik ortalama:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} 162 = 32.4$$

Standart sapma:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Varyans:

$$S^2 = \frac{1}{5-1} 1.20 = 0.3$$

Standart Hatanın Karesi:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n} = \frac{0.30}{5} = 0.06$$

Standart hata:

$$S_{\bar{x}} = 0.25$$

$$\alpha = 0.05 \Rightarrow 1 - \alpha/2 t_{n-1} = 0.975 t_4 = 2.776 \text{ (tablo)}$$

$$\Pr(\bar{x} - 1 - \alpha/2 t_{n-1} \cdot S_{\bar{x}} \leq \mu \leq \bar{x} + 1 - \alpha/2 t_{n-1} \cdot S_{\bar{x}})$$

Güven Aralığı:

$32.4 \pm 2.776 \cdot (0.25) = 32.4 \pm 0.694$  değerleri bulunmuştur. Likit limit için tüm değerler hesaplanmış ve tablo 12’ de görüldüğü gibi düzenlenmiştir.



Tablo 12. Likit Limit Değerleri İçin İstatistik Hesaplama Sonuçları:

Karışımlar	n	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalama için % 95 Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Kaolin + Su	5	32.40	0.55	0.25	31.71	33.09
Kaolin + 1N NaCl	5	39.20	0.84	0.41	38.06	40.34
Kaolin + 1N KCl	5	48.20	0.63	0.36	47.20	49.20
Kaolin + 4000ppm. ZnCl <sub>2</sub>	5	41.60	0.55	0.33	40.68	42.52
Kaolin + 4000ppm. CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O	5	43.00	0.00	0.00	43.00	43.00

**3.3.2. Plastik Limit İçin Tek Yönlü Varyans Çözümü :** Denemeler arası kareler toplamı:

Tek eksenli deney için model denklemi,

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

i = 1, 2, 3, 4, 5 j = 1, 2, 3, 4, 5 olarak kurulmuştur.

Tek Yönlü Varyans Çözümü için veri düzeni tablo 13' de verilmiştir.

$$KT_{deneme} = \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{n_j} - \frac{T_{..}^2}{N} = 112$$

Hata kareler toplamı:

$$KT_{hata} = KT_{genel} - KT_{deneme} = 6 \text{ olarak bulunur.}$$

Bulunan bu değerler tablo 14' deki varyans çözüm tablosuna aktarılır.

Tablo 13. Tek Yönlü Varyans Çözümü İçin Veri Düzeni:

Karışımlar	Kaolin + Su	Kaolin + 1N NaCl	Kaolin + 1N KCl	Kaolin +4000ppm. ZnCl <sub>2</sub>	Kaolin + 4000ppm. CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O	
Denemeler	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	20	19	26	23	22	
2	20	21	26	22	22	
3	20	22	26	23	23	
4	20	21	26	23	22	
5	20	21	26	23	22	
T <sub>.j</sub>	100	104	130	114	111	559
N <sub>j</sub>	5	5	5	5	5	25
$\sum_{j=1}^{n_j} Y_{ij}^2$	20	21	26	23	22	22

Burada; T<sub>.j</sub>, j. Denemedeki gözlemlerin toplamı, n<sub>j</sub>, j. Denemedeki gözlemlerin sayısı ve Y<sub>.j</sub>, j. Denemedeki gözlemlerin ortalamasıdır. T<sub>..</sub> tüm gözlemlerin genel toplamı ve Y<sub>..</sub> tüm gözlemlerin ortalamasıdır.(9)

Tablo 13 yardımıyla, genel kareler toplamı:

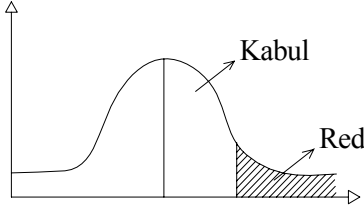
$$KT_{genel} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N} = 118$$

Tablo 14. Varyans Çözüm Tablosu:

Kaynak	Sd	KT	KO
Denemeler arası $\tau_j$	4	112	28.00
Denemeler içi yada hata $\varepsilon_{ij}$	20	6	0.30
Genel	24	118	4.92

Yapılan deneylerin doğruluğunu test etmek için "F" testi seçilmiştir. Buna göre hesaplama yöntemiyle "F" değeri; F<sub>4,20</sub> = 93.33 olarak bulunmuştur.

$\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi dikkate alınırsa “F” dağılım tablosundan  $F_{(4,20)} = 2.87$  olarak bulunur.  $F_{(Hesap)} > F_{(Tablo)}$  olduğu için, tuz ve ağır metallerin plastik limit değerlerine etkisi vardır ve ilgili anlamlılık grafiği şekil 3’ deki gibi olur.



Şekil 3. F testi Grafiği ( $\alpha = 0.05$  anlamlılık grafiği)

### Plastik Limit Deneyleri İçin Dik Doğrusal Bağntılar

Dik doğrusal bağntılar varyans analizinin kontrolü için, plastik limit değerleri arasında

Tablo 16. Hipotez Testi:

Hipotez	K.O.	K.T.	$F_{4,20}$ (Hesap)	$F_{4,20}$ (Tablo)	Hipotez Sonucu
$H_1: T_1 = T_2$	0.30	1.60	5.33	2.87	Red
$H_2: T_1 + T_2 = 2 T_3$	0.30	209	696.66	2.87	Red
$H_3: T_1 + T_2 + T_3 = 3 T_4$	0.30	3.20	10.66	2.87	Red
$H_4: T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 4T_5$	0.30	0.64	2.13	2.87	Kabul

kurulmalıdır. Plastik limit değerleri arası serbestlik derecesi 4 olduğundan, dört adet dik doğrusal bağntı kurulabilir. Buna göre;

$$C_m = \sum_{j=1}^4 C_{jm} \cdot T_j \quad \text{ve} \quad \sum_{j=1}^4 C_{jm} = 0 \quad \text{olup,}$$

$$C_m = C_{1m} \cdot T_{1.1} + C_{2m} \cdot T_{1.2} + C_{3m} \cdot T_{1.3} + C_{4m} \cdot T_{1.4} + C_{5m} \cdot T_{1.5} \quad (1)$$

$$C_{1m} \cdot T_{1.1} + C_{2m} \cdot T_{1.2} + C_{3m} \cdot T_{1.3} + C_{4m} \cdot T_{1.5} + C_{5m} \cdot T_{1.5} = 0 \quad \text{şartlarını sağlayan:}$$

$$C_1 = T_1 - T_2$$

$$C_2 = T_1 + T_2 - 2T_3$$

$$C_3 = T_1 + T_2 + T_3 - 3T_4$$

$$C_4 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - 4T_5 \quad \text{dik doğrusal bağntılar olarak kurulur. Bu bağntıların katsayıları tablo 15’de gösterilmiştir.}$$

Tablo15. Dik Katsayılar Tablosu:

	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_4$
$C_1$	1	-1	0	0	0
$C_2$	1	1	-2	0	0
$C_3$	1	1	1	-3	0
$C_4$	1	1	1	1	-4

Yukarıda verilen (1) denkleminde değerler yerine konarak her bir bağntının sonuçları bulunur.

$$C_1 = -4$$

$$C_2 = -56$$

$$C_3 = -8$$

$$C_4 = +4$$

Bunlara ilişkin kareler toplamı;

$$KTC_m = \frac{C_m^2}{n \sum_{j=1}^k C_{jm}^2} \quad \text{ifadesi kullanılarak}$$

hesaplandığında;

$$KT C_1 = 1.60$$

$$KT C_2 = 209$$

$$KT C_3 = 3.20$$

$KT C_4 = 0.64$  olarak bulunur. Her bir dik doğrusal bağntı için hipotez testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablo 16’ da görüldüğü gibi düzenlenmiştir.

Yapılan “F” testi neticesinde  $\alpha=0.05$  anlamlılık düzeyinde, ilk üç hipotez  $F_{(Hesap)} > F_{(Tablo)}$  olduğundan dolayı reddedilmiştir, dördüncüsü  $F_{(Hesap)} < F_{(Tablo)}$  olduğundan dolayı reddedilmemiştir. Kaolin+Su ile Kaolin+1N NaCl karışımının plastik limit değerleri arasında fark vardır. Aynı şekilde Kaolin+Su ve Kaolin+1N NaCl karışımının oluşturduğu kümenin ortalaması ile, Kaolin+1N KCl küme ortalaması arasında plastik limit değerlerinde ve Kaolin+Su, Kaolin+1N NaCl, Kaolin+1N KCl karışımının oluşturduğu

kümenin ortalaması ile, Kaolin + 4000ppm.ZnCl<sub>2</sub> küme ortalaması arasında plastik limit değerleri arasında da fark vardır. Ancak Kaolin + Su, Kaolin +1N NaCl, Kaolin+1N KCl, Kaolin +4000ppm. ZnCl<sub>2</sub> karışımlarının oluşturduğu kümenin ortalaması ile, Kaolin + 4000ppm.CuCl<sub>2</sub> \* 2H<sub>2</sub>O küme ortalaması arasında plastik limit değerlerinde önemli farklılık yoktur. Farklı karışımlarla plastik limit deneyi yapılan kaolin kilinin plastik limit değerlerinin ortalamaları  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyinde H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> ve H<sub>3</sub> için birbirinden farklıdır.

#### Plastik Limit Deneyleri İçin Ortalama Güven Aralığının Hesaplanması

Plastik limit için tüm değerler hesaplanmış ve Tablo 17' de görüldüğü gibi düzenlenmiştir.

## 5. EKLER

Yapılan laboratuvar çalışmalarındaki deneysel sonuçlar ve hesaplamalar, bu kısımda ayrıntıları ile sunulmuştur.

### LİKİT LİMİT (KAOLİN + SU)

Su ağırlığı

$$W \% = \frac{\text{Su ağırlığı}}{\text{Zeminin kuru ağırlığı}} \times 100$$

#### 1.Deney

Vuruş Sayısı	50	30	16
Kap no	27	71	109
Islak num. ağırlığı+dara	36,33	34,79	34,86
Kuru num. ağırlığı+dara	30,85	29,72	29,67
Su ağırlığı	5,48	5,07	5,19
Dara ağırlığı	13,58	14,02	13,90
Zeminin kuru ağırlığı	17,27	15,70	15,77
Su muhtevası W %	31	32	33

Tablo17. Plastik Limit Değerleri İçin İstatistik Hesaplama Sonuçları:

Karışımlar	n	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalama için % 95 Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Kaolin + Su	5	20	0.00	0.00	20.00	20.00
Kaolin + 1N NaCl	5	20.80	1.43	0.64	19.02	22.58
Kaolin + 1N KCl	5	26.00	0.00	0.00	26.00	26.00
Kaolin +4000ppm. ZnCl <sub>2</sub>	5	22.80	0.45	0.22	22.19	23.41
Kaolin + 4000ppm.CuCl <sub>2</sub> * 2H <sub>2</sub> O	5	22.20	0.45	0.22	21.59	22.81

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bolu yöresine ait kaolin kilinin kimyasal kirleticilerle kirlenmesi sonucu; kaolin kili içerisindeki değişebilir iyonlar ile ortama verilen sodyum, potasyum gibi iyonlar ile yer değiştirmiştir. Bunun sonucu olarak da kaolinin likit limitlerinde bir artış görülmüştür. Aynı şekilde, plastik limitlerinde, plastisite indisinde de bir artış görülmüştür. Bulunan sonuçlar  $\alpha = 0.05$  aralığında yapılan testler sonucunda güven vermiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak:

$A_{su} = \% 15$ ,  $A_{NaCl} = \% 23$ ,  $A_{KCl} = \% 28$ ,  $A_{ZnCl_2} = \% 24$ ,  $A_{CuCl_2 \cdot 2H_2O} = \% 27$  aktivite değerleri bulunmuş ve aktivite değerlerinde de bir artış görülmüştür. Ancak bu artışlara rağmen aktivite değerleri % 75 değerinden küçük olduğu için, bu kil aktif olmayan kil olarak sınıflandırılmıştır ve atık depolama alanları alt tabakalarında kullanılmasında aktivite yönünden bir problem yaratmayacağı tespit edilmiştir.

#### 2.Deney

Vuruş Sayısı	65	29	18
Kap no	77	114	8
Islak num. ağırlığı+dara	42,05	35,70	34,26
Kuru num. ağırlığı+dara	35,87	30,77	29,00
Su ağırlığı	6,18	4,93	5,26
Dara ağırlığı	14,78	15,36	13,57
Zeminin kuru ağırlığı	21,09	15,41	15,43
Su muhtevası W %	29	32	34

#### 3.Deney

Vuruş Sayısı	47	34	20
Kap no	11	128	201
Islak num. ağırlığı+dara	35,03	34,21	35,27
Kuru num. ağırlığı+dara	29,97	29,05	30,08
Su ağırlığı	5,06	4,96	5,19
Dara ağırlığı	13,87	13,68	14,18
Zeminin kuru ağırlığı	16,10	15,37	15,90
Su muhtevası W %	31	32	33

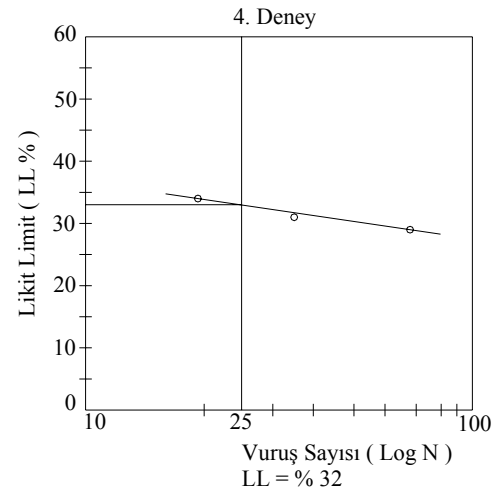
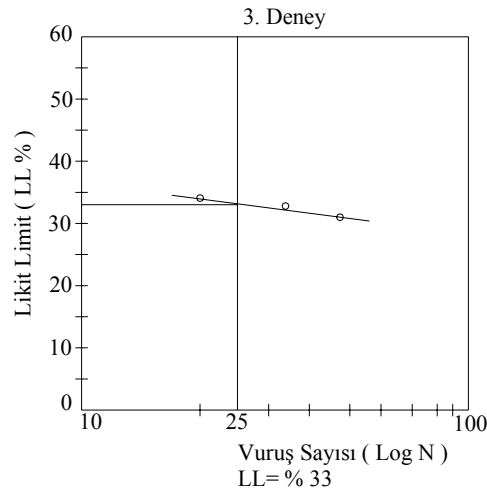
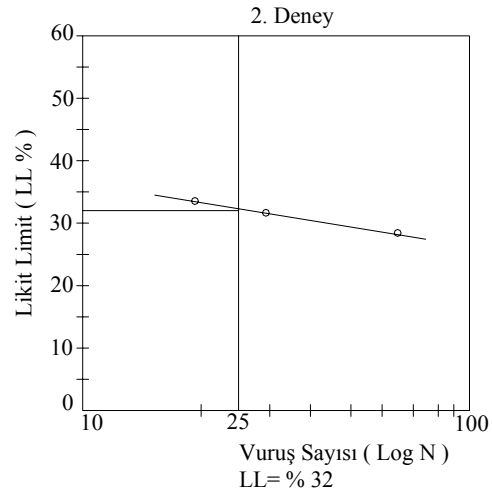
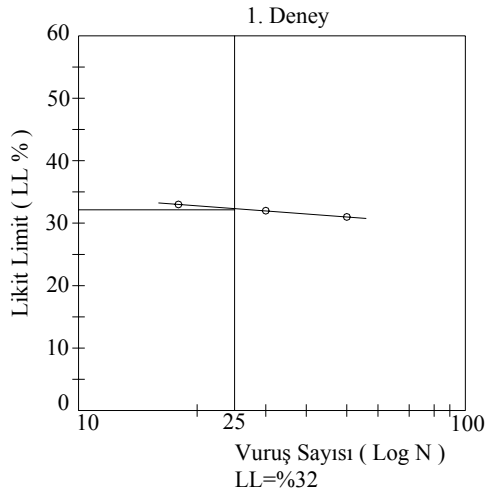
**4.Deney**

Vuruş Sayısı	68	35	19
Kap no	79	13	208
Islak num. ağırlığı+dara	36,72	35,62	35,11
Kuru num. ağırlığı+dara	31,59	30,48	29,82
Su ağırlığı	5,13	5,14	5,29
Dara ağırlığı	14,05	14,05	14,32
Zeminin kuru ağırlığı	17,54	16,43	15,50
Su muhtevası W %	29	31	34

**5.Deney**

Vuruş Sayısı	53		21
Kap no	66	55	207
Islak num. ağırlığı+dara	36,42	35,52	35,40
Kuru num. ağırlığı+dara	31,27	30,47	30,07
Su ağırlığı	5,15	5,05	5,33
Dara ağırlığı	13,88	14,86	14,34
Zeminin kuru ağırlığı	17,39	15,51	15,73
Su muhtevası W %	30	32	34

**KAOLİN + Su**



**LİKİT LİMİT (KAOLİN + 1 N NaCl)****1. Deney**

Vuruş Sayısı	56	30	16
Kap no	106	118	9(A)
Islak num. ağırlığı+dara	34,01	33,41	28,48
Kuru num. ağırlığı+dara	28,52	28,10	22,53
Su ağırlığı	5,49	5,31	5,95
Dara ağırlığı	13,16	13,97	8,52
Zeminin kuru ağırlığı	15,36	14,13	14,01
Su muhtevası W %	36	38	43

**2. Deney**

Vuruş Sayısı	63	28	19
Kap no	8(A)	212	10(A)
Islak num. ağırlığı+dara	29,95	36,81	31,03
Kuru num. ağırlığı+dara	24,47	30,89	24,55
Su ağırlığı	5,48	5,92	6,48
Dara ağırlığı	9,35	15,72	8,98
Zeminin kuru ağırlığı	15,12	15,17	15,57
Su muhtevası W %	36	39	42

**3. Deney**

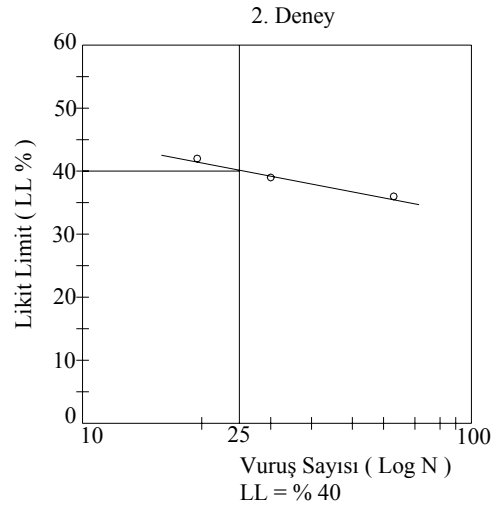
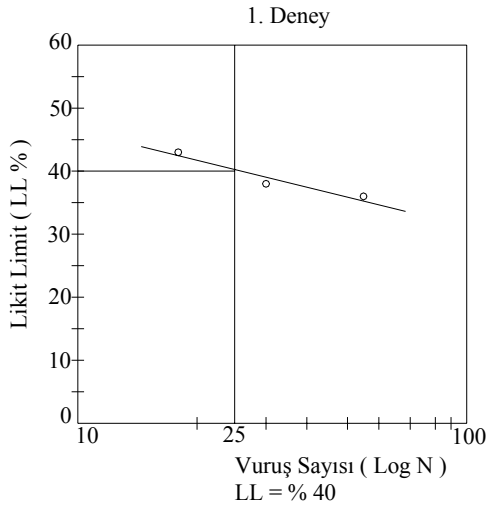
Vuruş Sayısı	73	37	21
Kap no	12(A)	110	117
Islak num. ağırlığı+dara	34,96	35,23	34,44
Kuru num. ağırlığı+dara	28,74	29,75	28,90
Su ağırlığı	6,22	5,48	5,54
Dara ağırlığı	10,97	14,85	15,00
Zeminin kuru ağırlığı	17,77	14,90	13,9
Su muhtevası W %	35	37	40

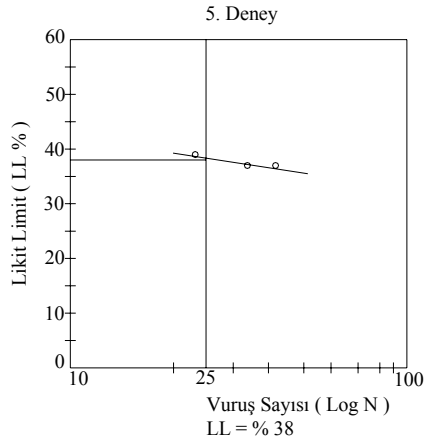
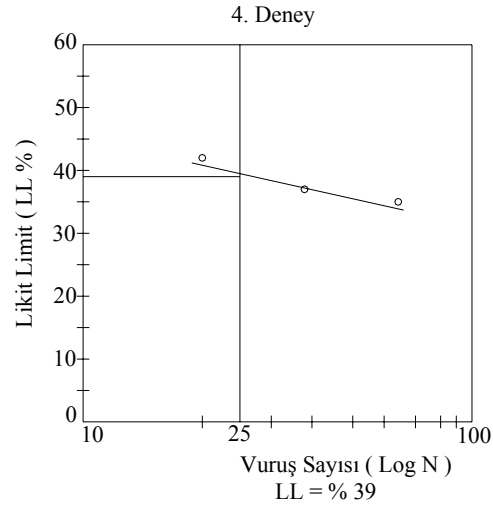
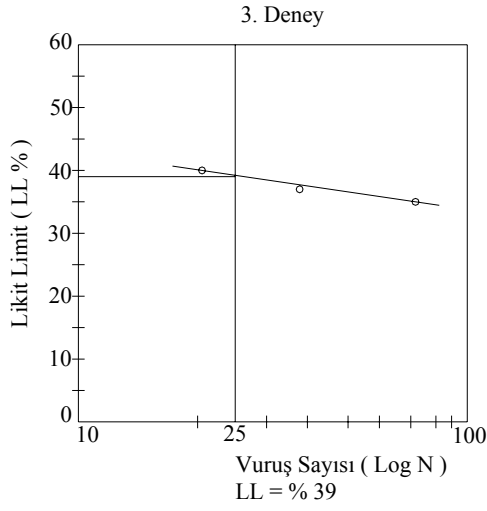
**4. Deney**

Vuruş Sayısı	65	38	20
Kap no	126	83	90
Islak num. ağırlığı+dara	35,05	34,62	35,63
Kuru num. ağırlığı+dara	29,40	29,33	29,12
Su ağırlığı	5,65	5,29	6,51
Dara ağırlığı	13,39	14,89	13,50
Zeminin kuru ağırlığı	16,01	14,44	15,62
Su muhtevası W %	35	37	42

**5. Deney**

Vuruş Sayısı	42	34	23
Kap no	74	16	32
Islak num. ağırlığı+dara	33,40	35,34	35,17
Kuru num. ağırlığı+dara	28,41	29,61	29,58
Su ağırlığı	4,99	5,73	5,59
Dara ağırlığı	14,78	13,99	15,33
Zeminin kuru ağırlığı	13,63	15,62	14,25
Su muhtevası W %	37	37	39

**KAOLİN + 1N NaCl**



## LİKİT LİMİT ( KAOLİN + 1 N KCl )

### 1. Deney

Vuruş Sayısı	35	28	19
Kap no	14	103	29
Islak num. ağırlığı+dara	34,99	39,65	34,63
Kuru num. ağırlığı+dara	28,10	31,80	27,70
Su ağırlığı	6,89	7,85	6,93
Dara ağırlığı	13,58	15,49	13,52
Zeminin kuru ağırlığı	14,53	16,31	14,18
Su muhtevası W %	47	48	49

### 2. Deney

Vuruş Sayısı	30	22	15
Kap no	112	5	118
Islak num. ağırlığı+dara	34,31	33,97	35,60
Kuru num. ağırlığı+dara	28,00	27,20	28,10
Su ağırlığı	6,31	6,77	7,50
Dara ağırlığı	14,78	13,86	13,97
Zeminin kuru ağırlığı	13,22	13,34	14,13
Su muhtevası W %	48	51	53

### 3. Deney

Vuruş Sayısı	40	31	20
Kap no	205	76	111
Islak num. ağırlığı+dara	36,20	38,20	34,07
Kuru num. ağırlığı+dara	29,18	30,75	27,44
Su ağırlığı	7,02	7,45	6,63
Dara ağırlığı	13,97	15,26	14,17
Zeminin kuru ağırlığı	15,21	15,49	13,27
Su muhtevası W %	46	48	50

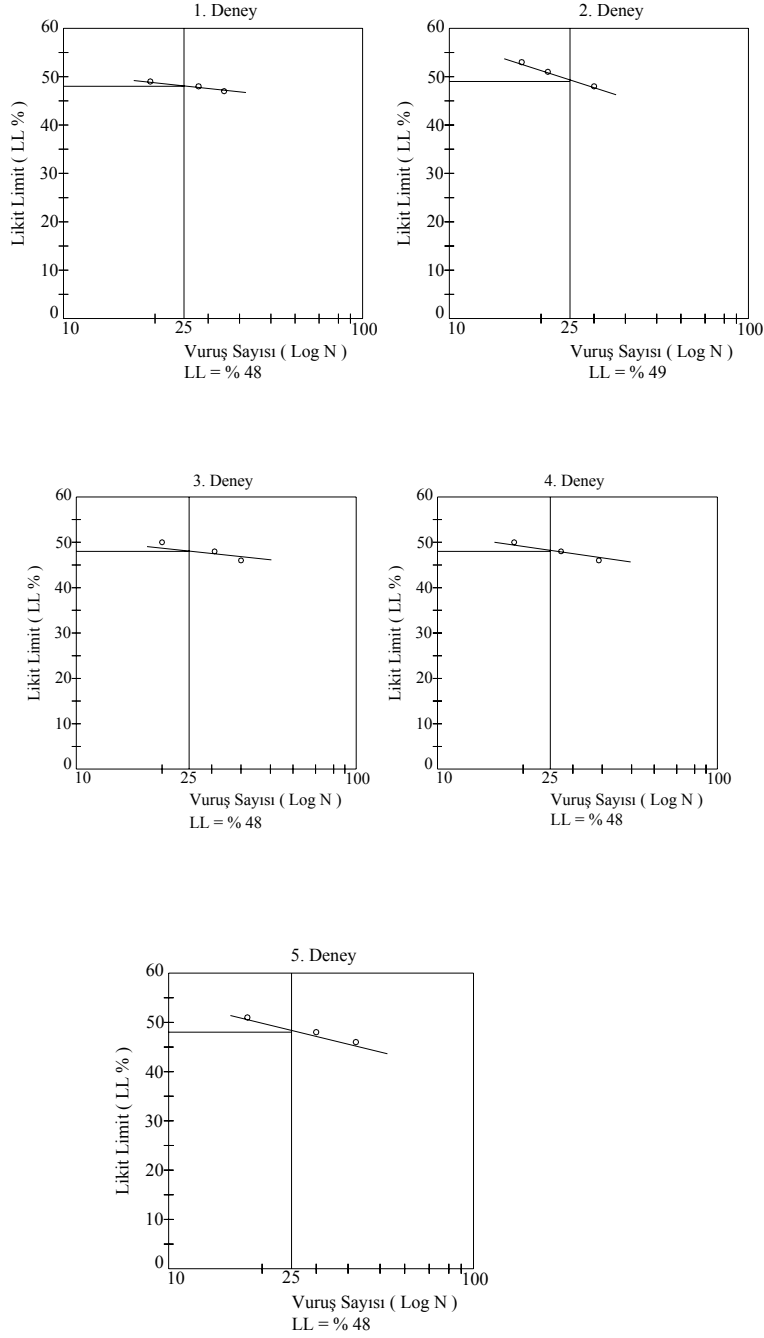
### 4. Deney

Vuruş Sayısı	39	27	18
Kap no	106	91	105
Islak num. ağırlığı+dara	34,72	37,41	35,42
Kuru num. ağırlığı+dara	27,91	30,39	28,64
Su ağırlığı	6,81	7,02	6,78
Dara ağırlığı	13,16	15,75	15,07
Zeminin kuru ağırlığı	14,75	14,64	13,57
Su muhtevası W %	46	48	50

### 5.Deney

Vuruş Sayısı	42	30	17
Kap no	128	78	91
Islak num. ağırlığı+dara	36,02	37,42	35,62
Kuru num. ağırlığı+dara	28,97	30,42	28,90
Su ağırlığı	7,05	7,00	6,72
Dara ağırlığı	13,68	15,78	15,75
Zeminin kuru ağırlığı	15,29	14,64	13,65
Su muhtevası W %	46	48	51

### KAOLİN + 1N KCl



**LİKİT LİMİT (KAOLİN +4000 ppm ZnCl<sub>2</sub>)****1. Deney**

Vuruş Sayısı	55	31	16
Kap no	83	67	120
Islak num. ağırlığı+dara	38,66	33,13	40,43
Kuru num. ağırlığı+dara	32,07	27,38	32,09
Su ağırlığı	6,59	5,75	8,34
Dara ağırlığı	14,89	13,34	14,02
Zeminin kuru ağırlığı	17,18	14,09	18,07
Su muhtevası W %	38	41	46

**2. Deney**

Vuruş Sayısı	54	26	16
Kap no	213	77	68
Islak num. ağırlığı+dara	38,47	35,96	36,12
Kuru num. ağırlığı+dara	33,38	29,72	29,55
Su ağırlığı	5,09	6,24	6,57
Dara ağırlığı	20,23	14,78	14,82
Zeminin kuru ağırlığı	13,15	14,94	14,73
Su muhtevası W %	39	42	45

**3. Deney**

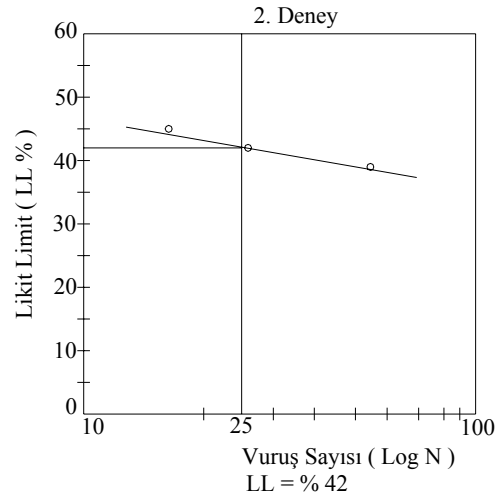
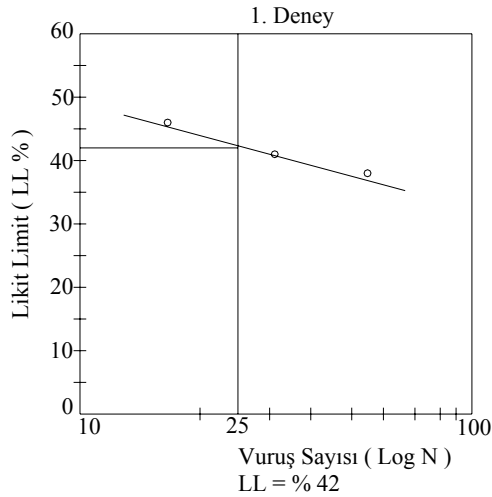
Vuruş Sayısı	41	28	18
Kap no	61	102	14
Islak num. ağırlığı+dara	36,44	34,52	36,27
Kuru num. ağırlığı+dara	30,39	28,60	29,47
Su ağırlığı	6,05	5,92	6,80
Dara ağırlığı	14,95	14,05	13,57
Zeminin kuru ağırlığı	15,44	14,55	15,90
Su muhtevası W %	39	41	43

**4. Deney**

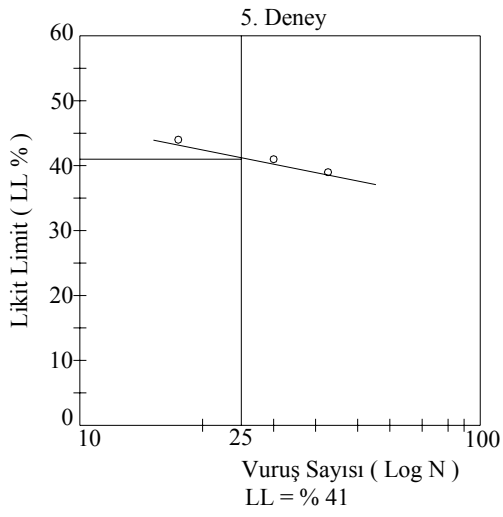
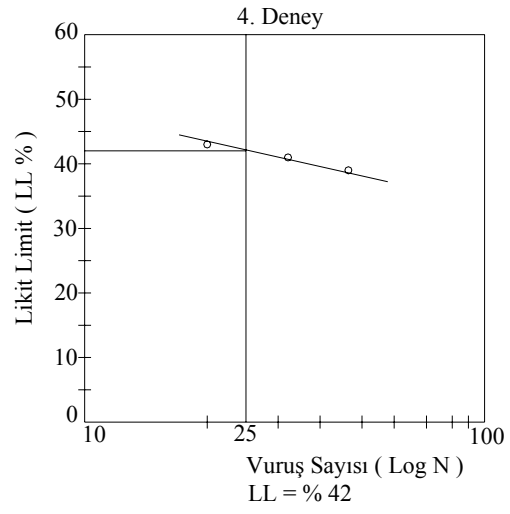
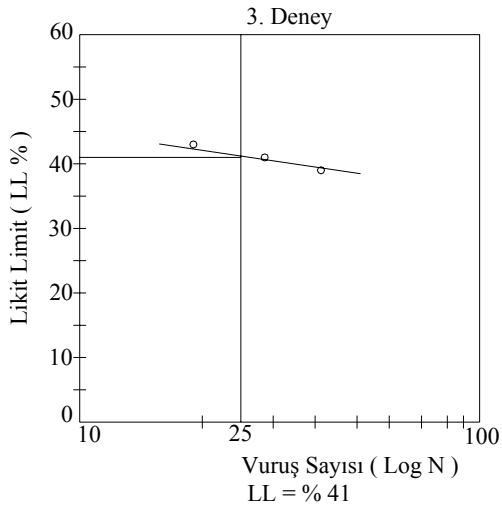
Vuruş Sayısı	47	32	20
Kap no	118	10	101
Islak num. ağırlığı+dara	38,96	34,07	35,16
Kuru num. ağırlığı+dara	31,94	28,19	29,06
Su ağırlığı	7,02	5,88	6,10
Dara ağırlığı	13,97	13,80	14,84
Zeminin kuru ağırlığı	17,97	14,39	14,22
Su muhtevası W %	39	41	43

**5. Deney**

Vuruş Sayısı	43	30	17
Kap no	16	11	105
Islak num. ağırlığı+dara	36,10	34,26	36,75
Kuru num. ağırlığı+dara	29,89	28,34	30,13
Su ağırlığı	6,21	5,92	6,62
Dara ağırlığı	13,99	13,87	15,07
Zeminin kuru ağırlığı	15,90	14,47	15,06
Su muhtevası W %	39	41	44

**KAOLİN + 4000ppm. ZnCl<sub>2</sub>**





## LİKİT LİMİT (KAOLİN + 4000 ppm CuCl<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O)

### 1. Deney

Vuruş Sayısı	65	40	18
Kap no	12	117	74
Islak num. ağırlığı+dara	34,56	34,85	37,79
Kuru num. ağırlığı+dara	28,51	29,06	30,69
Su ağırlığı	6,05	5,79	7,10
Dara ağırlığı	13,34	15,00	14,78
Zeminin kuru ağırlığı	15,17	14,06	15,91
Su muhtevası W %	40	41	45

### 2. Deney

Vuruş Sayısı	56	28	19
Kap no	79	29	10
Islak num. ağırlığı+dara	36,54	34,23	35,34
Kuru num. ağırlığı+dara	29,99	28,09	28,64
Su ağırlığı	6,55	6,14	6,70
Dara ağırlığı	14,05	13,52	13,80
Zeminin kuru ağırlığı	15,94	14,57	14,84
Su muhtevası W %	41	42	45

### 3. Deney

Vuruş Sayısı	44	25	20
Kap no	84	206	58
Islak num. ağırlığı+dara	33,48	36,08	36,14
Kuru num. ağırlığı+dara	27,67	29,41	29,55
Su ağırlığı	5,81	6,67	6,59
Dara ağırlığı	13,54	14,02	14,57
Zeminin kuru ağırlığı	14,13	15,39	14,98
Su muhtevası W %	41	43	44

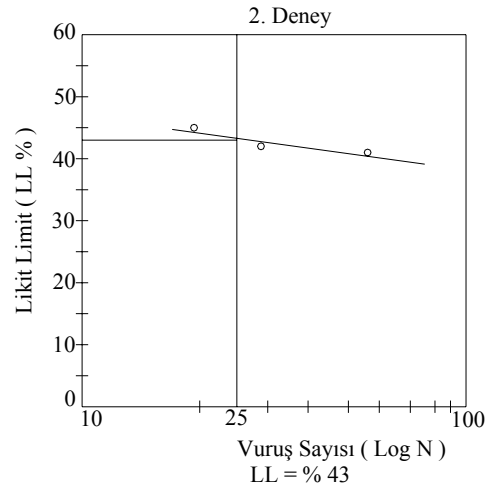
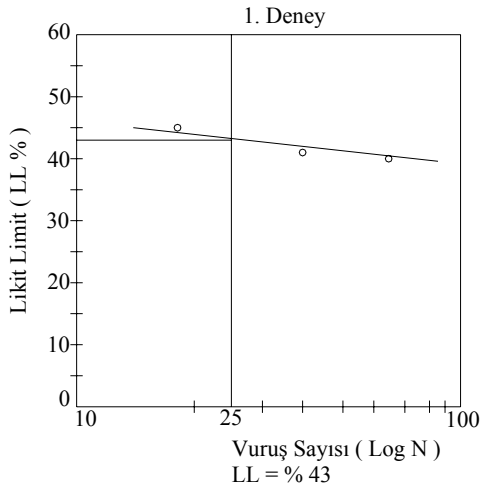
### 4. Deney

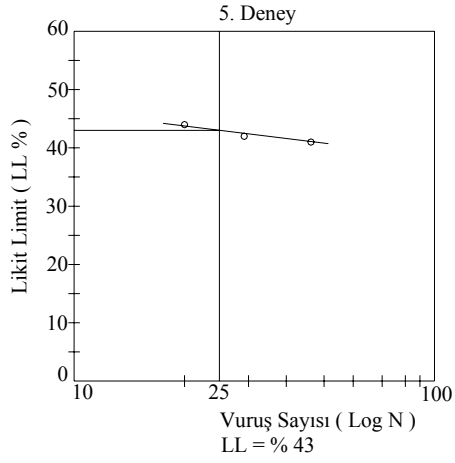
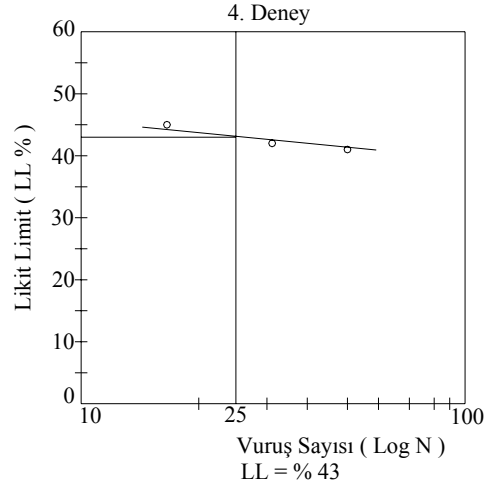
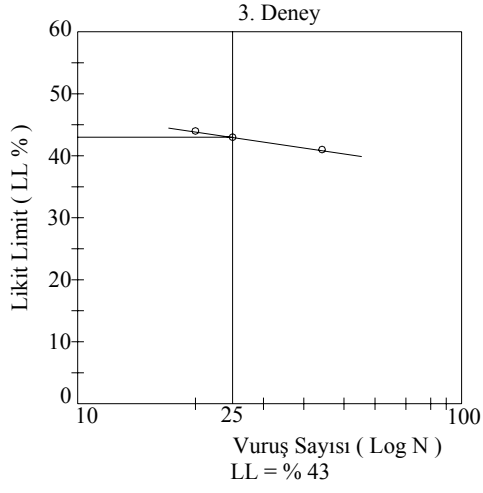
Vuruş Sayısı	50	31	17
Kap no	69	109	203
Islak num. ağırlığı+dara	34,42	35,02	36,20
Kuru num. ağırlığı+dara	28,40	28,78	29,50
Su ağırlığı	6,02	6,24	6,70
Dara ağırlığı	13,69	13,90	14,61
Zeminin kuru ağırlığı	14,71	14,88	14,89
Su muhtevası W %	41	42	45

### 5. Deney

Vuruş Sayısı	46	29	20
Kap no	106	9	58
Islak num. ağırlığı+dara	34,17	35,30	34,14
Kuru num. ağırlığı+dara	28,05	28,28	28,16
Su ağırlığı	6,12	6,32	5,98
Dara ağırlığı	13,16	13,28	14,57
Zeminin kuru ağırlığı	14,89	15,00	13,59
Su muhtevası W %	41	42	44

## KAOLİN + 4000ppm. CuCl<sub>2</sub> \* 2H<sub>2</sub>O





**PİLASTİK LİMİT****KAOLİN + SU**

KAP NO	33	27	16	14	210
Islak num. ağırlığı+dara	21,55	23,35	21,65	22,02	21,48
Kuru num. ağırlığı+dara	20,32	21,70	20,36	20,62	20,27
Su ağırlığı	1,23	1,65	1,29	1,40	1,21
Dara ağırlığı	14,29	13,58	13,99	13,57	14,32
Zeminin kuru ağırlığı	6,03	8,12	6,37	7,05	5,95
Su muhtevası W %	20	20	20	20	20

**KAOLİN + 1N NaCl**

KAP NO	77	25	8	55	12
Islak num. ağırlığı+dara	21,47	21,52	21,79	21,63	22,03
Kuru num. ağırlığı+dara	20,40	20,40	20,30	20,46	20,52
Su ağırlığı	1,07	1,12	1,49	1,17	1,51
Dara ağırlığı	14,78	15,04	13,57	14,86	13,34
Zeminin kuru ağırlığı	5,62	5,36	6,73	5,60	7,18
Su muhtevası W %	19	21	22	21	21

**KAOLİN + 1N KCl**

KAP NO	61	65	206	107	59
Islak num. ağırlığı+dara	22,08	21,37	21,30	23,55	22,27
Kuru num. ağırlığı+dara	20,60	19,75	19,80	21,90	20,76
Su ağırlığı	1,48	1,62	1,50	1,65	1,51
Dara ağırlığı	14,95	13,40	14,02	15,53	14,95
Zeminin kuru ağırlığı	5,65	6,35	5,78	6,37	5,81
Su muhtevası W %	26	26	26	26	26

**KAOLİN + 4000 ppm Zn Cl<sub>2</sub>**

KAP NO	209	8	203	112	69
Islak num. ağırlığı+dara	21,89	22,07	21,65	21,72	22,25
Kuru num. ağırlığı+dara	20,50	20,52	20,32	20,36	20,65
Su ağırlığı	1,39	1,55	1,33	1,36	1,60
Dara ağırlığı	14,39	13,57	14,61	14,49	13,69
Zeminin kuru ağırlığı	6,11	6,95	5,71	5,87	6,96
Su muhtevası W %	23	22	23	23	23

**KAOLİN + 4000 ppm CuCl<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O**

KAP NO	212	214	5(A)	55	89
Islak num. ağırlığı+dara	24,03	27,02	18,08	23,27	24,58
Kuru num. ağırlığı+dara	22,43	25,83	16,75	21,75	22,91
Su ağırlığı	1,60	1,19	1,33	1,52	1,67
Dara ağırlığı	15,09	20,51	10,96	14,86	15,40
Zeminin kuru ağırlığı	7,34	5,32	5,79	6,89	7,51
Su muhtevası W %	22	22	23	22	22

**KAYNAKÇA**

1. Das, M. B., 1984, Principles of Foundation Engineering, Monterey, California, 473-477 p.
2. Hassini, S., 1992, Some Aspects of Landfill Design Environmental Science and Engineering, Environmental Geotechnology, 137-143 p.
3. Gordon, M.E., Huebner, P.M., Miazga, T.J., 1989, Hydraulic Conductivity of Three Landfill Clay Liners, J.of Getech. Eng., Vol.115, No.8, 1148-1159 p.
4. Tuncan, Ahmet., Erkilavuz, Deniz., Tuncan, Mustafa., Güney, Yücel., 1997 Çöp Deponi Alanı İçin Geçirimsiz Kil Tabakası Dizaynı, VIII. Ulusal Kil Sempozyumu, 24-27 Eylül1997, Kütahya.
5. Keskin, S.N., Killerin Kıvam Limitlerini Etkileyen Faktörler, V. Ulusal Kil Sempozyumu, 16-20 Eylül 1991, Eskişehir.
6. Özaydın, Kutay., Zemin Mekaniği, Maya Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul, 1989
7. Önalp, Akın., Geoteknik Bilgisi I Zeminler ve Mekaniği, Sakarya Üniversitesi Yayınları No: 27, İstanbul, 1997.
8. ASTM, 1985, ASTM Standards, Naturel Bulding Stones; Soil and Rock.Vol.04.08, ASTM, Piladelphia, Pa.
9. Çelik, M.H., Deney Düzenleme ve Çözümleme Metotları, Lisansüstü Ders Notları, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enst., Yapı Eğitimi A.B.D., Ankara, 1996.
10. Karasar, Niyazi., Bilimsel Araştırma Yöntemi, Araştırma Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara, 1994.