



Bazı Zirai Kimyasalların Killi Zeminlerin Kıvam Limitlerine Etkisi

Uğur Eren YURTCAN^{1*}, Ahmet Hakan ÜRÜŞAN², Fatma TABAK³

^{1*} Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, İnşaat Programı, Bingöl. ORCID NO: 0000-0001-5040-2786, e-mail: ueyurtcan@bingol.edu.tr

² Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bahçe Bitkileri Programı, Bingöl. ORCID NO: 0000-0002-6726-1008

³ Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, İnşaat Programı, Bingöl. ORCID NO: 0000-0002-7525-4609

(Alınış: 22.06.2020, Kabul: 28.07.2020, Yayınlanma: 08.09.2020)

Özet

Dünya nüfusunun artışıyla büyüyen şehirler her geçen gün yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Üstelik bir zamanlar şehirlerin dışına yerleştirilmiş sanayi siteleri ve organize sanayi bölgeleri ya da tarım arazileri zamanla büyüyen şehirlerin içinde kalmaktadır. Büyüyen şehirlerin sınırlarında kalan tarım arazileri zamanla yerleşime açılmaktadır. Bir zamanlar tarım için kullanılan arazilerde bilinçsizce ve fazla miktarda kullanılan tarımsal ilaçlar, yağlar vb. kimyasallar yağışlarla ya da sulama sularıyla toprağın derinlerine sızmaktadır. Killi zeminlerin geoteknik davranışında zeminlerin su tutma kapasitesi önemli bir etmendir. Taşıma gücü, sıkışma davranışı ve sızma davranışı büyük ölçüde su tutma davranışı tarafından kontrol edilmektedir. Kimyasallar özellikle killi zeminlerin su tutma davranışında dolayısıyla da geoteknik davranışında farklılıklara yol açtığı birçok çalışmayla ortaya konmuştur. Bu çalışmayla zirai kimyasalların kil zeminlerin su tutma davranışına etkisi incelenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesinde en çok kullanılan zirai ilaçlardan fungusit grubundan maneb, mankozeb ve bakıroksiklorürün killerin su tutma davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla bentonit ve kaolin killeri kullanılmıştır. Zirai ilaçların uygulama oranları referans alınarak uygulama oranında (x1) ve uygulama oranının beş katında (x5) hazırlanan çözeltilerle kıvam limitleri deneyleri yapılarak killerin su tutma davranışının nasıl etkilediği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil-kimyasal etkileşimi, Zirai kimyasallar, Atterberg Limitleri, Su tutma, Kil zeminler

The Effect of Agricultural Chemicals on Atterberg Limits of Clayey Soils

Abstract

Growing with the increase in the world population, cities need new residential areas every day. Moreover, industrial sites and organized industrial zones or farmlands, which were once located outside the cities, remain within the cities that are growing in time. The agricultural lands that remain in the borders of the growing cities open to settlement over time. Agricultural drugs, oils, chemicals, etc. Which are used unconsciously and in large amounts in the land used for agriculture once penetrate deep into the soil with precipitation or irrigation water. The water holding capacity of the soils is an important factor in geotechnical behavior of clayey soils. Bearing strength, compression behavior and creep behavior are controlled by the substantially water retention behavior. Many studies have shown that chemicals lead to differences in water retention behavior and therefore in geotechnical behavior of clayey soils. In this study, the effects of agricultural chemicals on the water retention behavior of clay soils were investigated.

It was investigated how maneb, mancozeb and copper oxychloride from the fungicide group, which are the most widely used agricultural drugs in the Eastern Anatolia Region, affected the water retention behavior of clays. Bentonite and kaolin clays were used for this purpose. By looking at the application rates of pesticides, it was investigated that the water retention behavior of clays was investigated by conducting experiments on the consistency limits with the solutions prepared at the application rate (x1) and five times of the application rate (x5).

Keywords: Clay-chemical interaction, agricultural chemicals, atterberg limits, water retention, clay soils

1. GİRİŞ

Toprak yer kabuğunu meydana getiren insan ve diğer canlıların yaşamında temel olan önemli bir kaynaktır. İnsanoğlu barınma, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler gibi amaçlarla toprağı sürekli kullanmaktadır. Artan dünya nüfusu tarım amacı ile kullanılan toprakların gün geçtikçe azalmasına; ayrıca bilinçsiz tarımsal faaliyetler de toprağın sahip olduğu fiziksel kimyasal ve biyolojik yapısında geri dönüşü olmayan kayıplara neden olmaktadır [1]. Yoğun gübreleme ve ilaçlama gibi tarımsal aktiviteler sonucunda toprakta biriken ağır metaller, organik ve inorganik kaynaklı kirleticiler toprak kimyasını bozmaktadır. Kimyasallar toprağı karıştıktan sonra kirleticilerin toksik etkisini arttıran veya azaltan bir takım kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmektedir [2]. Toprak, üzerine atılan zirai ilaçları filtre görevi yaparak tutar ve bu zararlı maddeleri biyolojik ve fizikokimyasal yolla absorbe eder [3]. Toprak bünyesinde tutulan bu zararlı kimsayallar çeşitli reaksiyonlar sonucu toprak yapısını değiştirmekte ve toprağın su tutma kapasitesini de etkilemektedir. Toprak yapısındaki değişiklikler tarımsal üretimi olumsuz etkilemekle beraber artan nüfusa bağlı olarak bu tür alanlarda barınma amacı ile yapılan yapılar içinde uygun olmayan zeminler oluşturabilmektedir.

Tüm yapılar inşa edildikleri zeminle etkileşim halindedir. Zemin yapı yükü altında deformasyonunun günlük pratikteki karşılığını yapıdaki taşıma gücü kaybı ya da oturma problemi olarak bilmekteyiz. Tüm yapılar inşa edilmeden evvel yapı-zemin etkileşimi açısından incelenmektedir. İnşaat öncesi araziden alınan numuneler üzerinde zemin mekaniği deneyleri yapılarak zeminin yapı yükü altındaki deformasyon davranışının uygun sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı değerlendirilir. Yapılan deneyler saf su kullanılarak yapılmaktadır.

Günümüzde birçok şehrimiz gün geçtikçe gelişmekte ve şehirlerimizde yeni yerleşim yerleri ihtiyacı doğmaktadır. Doğal sınırlarına ulaşan şehirlerimizin yerleşim yeri ihtiyacını karşılamak için eski sanayi bölgeleri, âtil hale gelmiş yerleşkeler veya tarım arazileri yerleşime açılmaktadır. Sadece ülkemizde değil tüm dünyada kentler benzer sorunlarla karşı karşıyadır.

Öncesinde sanayii veya zirai gibi farklı amaçlara hizmet eden sonrasında konut imarına açılan araziler üzerine çevresel etkiler bakımından farklı disiplinlerde yayın yapılmasına rağmen geoteknik ve zemin-zirai kimyasal etkileşimi açıdan sınırlı sayıda yayın yapılmıştır. Benson et al. ve Inyang, Daniels, and Ogunro [4], [5] gibi sınırlı sayıda yayınlar tekrar yerleşime açılan tarımsal ya da endüstriyel arazilerin önceden maruz kaldığı kirleticilerin, yeniden yapılaşma sırasında imal edilen binalar için oluşturduğu riske işaret etmektedir. Bu doğrultuda ağır kirleticilerin etkisini inceleyen yayınların kıyasla fazla olmasına rağmen [6]–[10]; zirai kimyasalların zemine etkisini inceleyen yayın sayısı oldukça azdır. Eltarabily et al. [11] iri kum, orta-ince kum ve siltli kil olmak üzere üç temsili zemin örneği üzerinde Mısır’da en yoğun kullanılan kimyasal gübre olan DAP (di-amonyum hidrojen fosfat) gübresinin etkisini incelemiştir. Çalışmada fosfat konsantrasyonunun artışıyla killi zemin numunesinin atterberg limitlerinde azalma; hidrolik iletkenliğinde ise artış gözlemlendiğinden bahsetmiştir.

Ayrıca fosfat artışıyla killi numunesinin kohezyonunda azalma, buna karşın içsel sürtünme açısında artış gözlemlendiğini belirtmiştir. Dünyada her gün farklı amaçla kullanılan arazilerin yapılaşmaya açılması söz konusuysa bu konu üzerine sınırlı çalışma yapılmıştır.

Bingöl ili de gelişen ve yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyan şehirlerimizden biridir. Bingöl'de şehrin doğal sınırlarında her gün imara açılan yeni alanlar olduğunu günlük hayatımızda görebiliyoruz. Bununla beraber imara açılan zirai arazilerde inşa edilen yeni yapılarla etüt raporlarıyla tahmin edilen zemin davranışıyla zeminin gerçek davranışı arasında farklılıklar olup olmayacağı sorusu akla geliyor. Yapılan bu çalışmayla, kısa süre öncesine kadar tarım arazisi olarak yoğun zirai kimyasala maruz kalan zeminlerin imara açıldıktan sonra davranışında hangi derecede davranış farklılıklarına yol açabileceğine dair fikir sahibi olmak amaçlanmıştır.

2. MATERYAL

Doğu Anadolu Bölgesi genelinde en yoğun kullanılan zirai kimyasallar bölgede satış ve dağıtım yapan ilaç firmalarıyla konuşularak belirlenmiştir. İlaçlarla ilgili edinilen bilgiler aşağıdaki tabloda özet olarak verilmiştir (Tablo-1).

Tablo-1. Doğu Anadolu Bölgesi'nde zirai hastalıklara neden olan zararlılara karşı en yoğun kullanılan zirai ilaçlar.

Zirai Hastalıklara Neden Olan Zararlılar	Etken Madde	Etkili Madde Miktarı
Elma iç kurdu ve bağ salkım güvesi	DELTAMETHRIN	25 gr/l
	CYPERMETHRIN	250 gr/l
Bağlarda küllenme, mildiyö ve ölü kol hastalığına neden olan zararlılar	AZOXYSTROBIN + DIFENOCONAZOLE	200 gr Azo. + 125 gr Dif.
	BOSCALID + KRESOXIM-METHYL	200 gr Bos. + 100 gr Kre.
Elma ve armutta kara leke hastalığına neden olan zararlı	TEBUCONAZOLE	%25
Sebzelerde küllenme, yalancı mildiyö, fasülye pas hastalığı, domates erken yaprak yanıklığına neden olan zararlı	PROBINEB	%70
	MANCOZEB	%80
	MANEB	%80
Domateste bakteriyel leke hastalığına neden olan zararlı	BAKIR OKSİKLOÜR	%50
Bağlarda uyuz hastalığına neden olan zararlı	MİKRONİZE KÜKÜRT	%80
Sebzelerde kırmızı örümcek	ABAMECTIN (AVERMECTIN)	18 gr/l
	SPIROMESIFEN	240 gr/l
Meyve ağaçlarında kırmızı örümcek	SPIRODICLOFEN	240 gr/l

Killer doğal yapıları gereği geniş negatif yüklü yüzeylere sahiptir [12]–[14]. Bu nedenle metal içerikli ve pozitif yüklü olan moleküllerle killerin etkileşimi daha yüksek olacaktır. Metal içeriği yüksek etken maddelerine sahip olan ilaçlarla çalışmanın davranışın daha iyi gözlemlememize yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle Mancozeb, Maneb ve Bakır Oksiklorür etken maddeli zirai kimyasallarla çalışmaya karar verilmiştir.

Söz konusu zirai kimyasalların toprak katmanları içerisindeki birikme yüzdelerini belirlemek başlı başına bir çalışma konusudur. Su tutma davranışındaki sınır davranış değişiklikleri hakkında fikir sahibi olmak için, deneylerde kullanılan saf suyun yerine adı geçen zirai kimyasalların uygulanma dozlarında (x1) ve uygulama dozlarının 5 katı kadar (x5) derişiklikte hazırlanmış çözeltilerle deney yapılmıştır. Kimyasal etkisini görebilmek için yine saf suyla deney yapılmıştır.

Doğal killi zeminlerin davranışlarındaki belirsizliklere neden olan etmenlerin etkilerini en aza indirmek için ticari amaçlarla saflaştırılmış killerin kullanılmasına karar verilmiştir. Düşük plastisiteli killeri temsilen kaolin kili (K); yüksek plastisiteli killeri temsilen de bentonit (B) (Na-montmorillonit) kili kullanılmıştır.

3. YÖNTEM

Mankozeb (Mn), Maneb (Mz) ve Bakıroksiklorür (BO) çözeltileri (çözeltiler zirai kimyasalların uygulama dozunda ve uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmıştır) ile saf su kullanılarak kıyım limitleri deneyleri (düşen koni deneyi ve plastik limit deneyleri) yapılmıştır. Saf suyla (SS) hazırlanan numunelere kıyasla kimyasal çözeltilerle hazırlanan numunelerin su tutma davranışının nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Likit limit tayini TS 1900-1‘de tanımlanan koni düşürme yöntemiyle; plastik limit deneyi de yine TS 1900-1 ‘de tanımlanan standartlara göre yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler listesi tablo-2 ‘de görülmektedir.

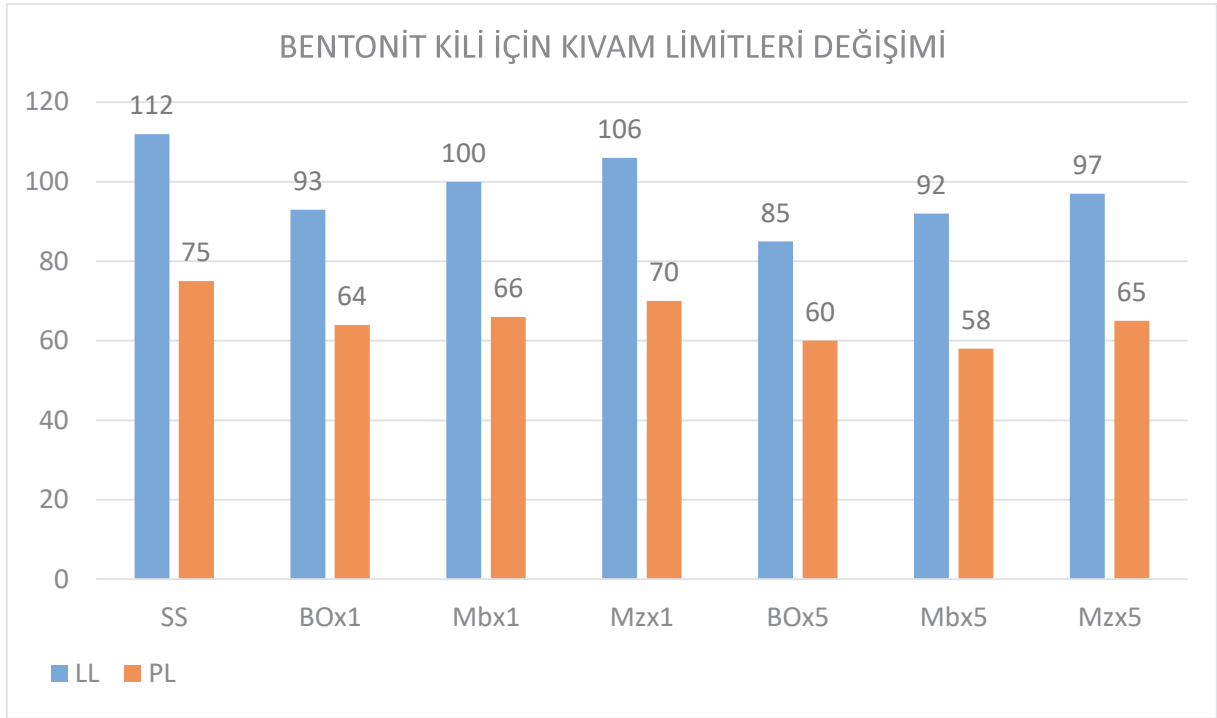
Tablo-2. Yapılan deneyler listesi

Kil Türü	Bentonit		Bentonit		Bentonit		Bentonit		Bentonit		Bentonit		Bentonit	
Zirai Kimyasal	SS		BOx1		Mbx1		Mzx1		BOx5		Mbx5		Mzx5	
Yapılan Deney	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit
Kil Türü	Kaolin		Kaolin		Kaolin		Kaolin		Kaolin		Kaolin		Kaolin	
Zirai Kimyasal	SS		BOx1		Mbx1		Mzx1		BOx5		Mbx5		Mzx5	
Yapılan Deney	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit	Likit Limit	Plastik Limit

- SS : Saf Su,
BOx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Bakıroksiklorür
BOx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Bakıroksiklorür
Mbx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Maneb
Mbx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Maneb
Mzx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Mankozeb
Mzx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Mankozeb

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bakıroksiklorür ile yoğrulmuş olan bentonit numunelerinin **likit limit** değerlerinde saf su ile hazırlanmış numunelere kıyasla sırasıyla uygulama dozunda ve uygulama dozunun beş katında çözeltilerle hazırlanmış numunelerin likit limit değerlerinde yaklaşık %17 ve %24 lük düşüşler gözlemlenmiştir. Maneb için likit limitteki bu düşüş yine sırasıyla yaklaşık %11 ve %18; Mankozeb için ise yaklaşık %5 ve %13 düşüş gözlemlenmiştir. Bakıroksiklorür ile yoğrulmuş olan bentonit numunelerinin **plastik limit** değerlerinde saf su ile hazırlanmış numunelere kıyasla sırasıyla uygulama dozunda ve uygulama dozunun beş katında çözeltilerle hazırlanmış numuneler için yaklaşık %15 ve %20 lik düşüşler gözlemlenmiştir. Maneb için bu düşüş yine sırasıyla yaklaşık %12 ve %23; Mankozeb için ise yaklaşık %7 ve %13 düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil-1. Bentonit kili için, elde ettiğimiz, zirai kimyasal etkisiyle kıvam limitleri değerleri değişimi

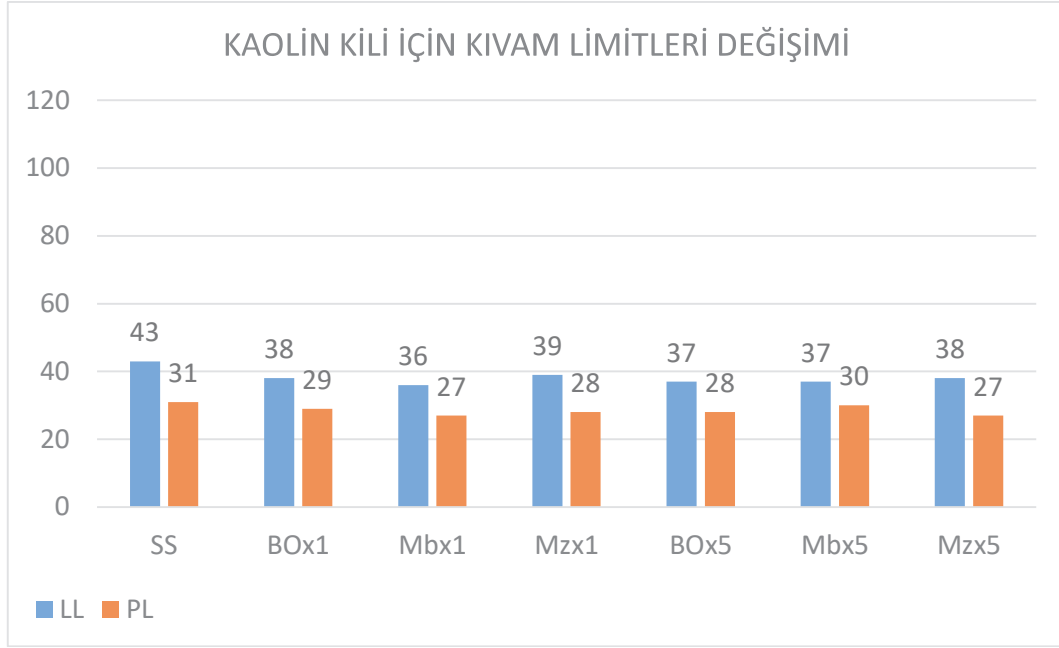
Tablo-3. Bentonit kili için elde edilen deney sonuçları

Kil Türü	Zirai Kimyasal	LL	PL	PI
Bentonit	SS	112	75	37
Bentonit	BOx1	93	64	29
Bentonit	Mbx1	100	66	34
Bentonit	Mzx1	106	70	36
Bentonit	BOx5	85	60	25
Bentonit	Mbx5	92	58	34
Bentonit	Mzx5	97	65	32

- SS : Saf Su,
BOx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Bakıroksiklorür
BOx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Bakıroksiklorür
Mbx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Maneb
Mbx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Maneb
Mzx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Mankozeb
Mzx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Mankozeb

Bakıroksiklorür ile yoğrulmuş olan kaolin numunelerinin **likit limit** değerlerinde saf su ile hazırlanmış numunelere kıyasla sırasıyla uygulama dozunda ve uygulama dozunun beş katında çözeltilele hazırlanmış numuneler için yaklaşık %12 ve %14 lük düşüşler gözlemlenmiştir. Maneb için bu düşüş yine sırasıyla yaklaşık %16 ve %14; Mankozeb için ise yaklaşık %9 ve %12 düşüş gözlemlenmiştir. Bakıroksiklorür ile yoğrulmuş olan bentonit numunelerinin

plastik limit değerlerinde saf su ile hazırlanmış numunelere kıyasla sırasıyla uygulama dozunda ve uygulama dozunun beş katında çözeltilerle hazırlanmış numuneler için yaklaşık %6 ve %10 lik düşüşler gözlemlenmiştir. Maneb için bu düşüş yine sırasıyla yaklaşık %13 ve %3; Mz için ise yaklaşık %10 ve %10 düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil-2. Kaolin kili için elde ettiğimiz zirai kimyasal etkisiyle kıvam limitleri değerleri değişimi

Tablo-4. Kaolin kili için deney sonuçları

Kil Türü	Zirai Kimyasal	LL	PL	PI
Kaolin	SS	43	31	12
Kaolin	BOx1	38	29	9
Kaolin	Mbx1	36	27	9
Kaolin	Mzx1	39	28	11
Kaolin	BOx5	37	28	9
Kaolin	Mbx5	37	30	7
Kaolin	Mzx5	38	27	11

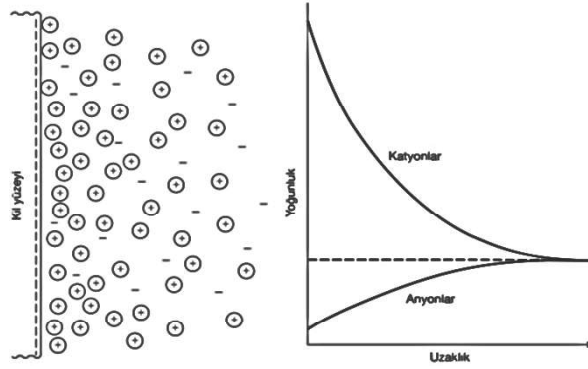
- SS : Saf Su,
BOx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Bakıroksiklorür
BOx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Bakıroksiklorür
Mbx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Maneb
Mbx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Maneb
Mzx1 : Uygulama dozunda hazırlanmış Mankozeb
Mzx5 : Uygulama dozunun beş katı derişiklikte hazırlanmış Mankozeb

Zirai kimyasalların bentonit kilinin su tutma kapasitesinde kaolin kiline kıyasla sert düşüşlere neden olduğu görülmektedir. Zirai kimyasalların etkileri kıyaslandığında en yüksek düşüş Bakıroksiklorürün en az düşüşe ise Mankozebin neden olduğu görülmektedir. Kaolin kilinin zirai kimyasallarla etkileşimi yüzde olarak yüksek gibi görünse de değer düşüşü açısından

bentonit kilinden çok daha düşük düzeydedir. Kaolin kilinin su tutma kapasitesinde düşüş gözlenirse de zirai kimyasalların etkileri arasında, bentonit üzerindeki etkileri gibi net bir ayırım (yani etkiye gücü sıralaması) yapmak mümkün olmamıştır.

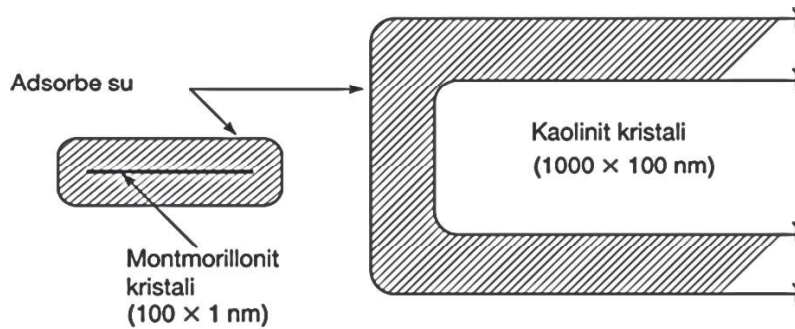
5. TARTIŞMA

Killi zeminlerin yük altındaki mekanik davranışı (taşıma gücü, oturma, şev stabilitesi gibi mühendislik sorunlarına karşılık gelmektedir) su içeriğinden büyük oranda etkilenmektedir. Bunun nedeni killerin su tutma mekanizmalarının farklılığından kaynaklanmaktadır [12]–[14]. Killer, geniş negatif yüklü yüzeylerine polar yapıdaki su moleküllerinin zayıf bağlarla (van der Waals kuvvetleri) tutunmasıyla tutarlar (şekil-3). Bu sayede killer hidrofilik bir davranış sergilerler. Su molekülleri kil yüzeyinden uzaklaştıkça su moleküllerini tutma kapasiteleri düşer. Diğer yandan kil yüzeyine tutunan iyonik moleküller kil yüzeyine tutunarak su tutma kapasitelerini düşürürler. Çalışma kapsamında zirai kimyasalların molekülleri yapılarındaki pozitif uçlu moleküllerinin kilin su tutma kapasitesinde ne derece düşüş yapabileceği sorusu bu çalışmanın çıkış noktasıdır.



Şekil-3. Kil yüzeyine yakın su ve iyonların çok katmanlı düzeni [13], [14]

Şekil-4 'de bentonit (Na-montmorillonit) ve kaolin kili danelerinin kıyasla boyutları ve adsorbe su tabakalarının boyutları görülebilmektedir. Bentonit kilinin boyutunun küçük olması özgül yüzeyini artırdığı için su tutma kapasitesinin diğer kil türlerine göre oldukça yüksek olması bilinmektedir. Diğer yandan bentonit kilinin mekanik davranışı da bünyesinde tuttuğu su miktarının değişimiyle değişmektedir. Kaolin kili için ise tam tersi söz konusudur.



Şekil-4. Na-montnorillonit ve Na-kaolinit üzerindeki adsorbe su tabakalarının göreceli boyutları [12], [14]

6. SONUÇLAR

Deney sonuçlarından su tutma kapasitelerindeki düşüş gözlemlenmektedir. Yüksek plastisiteye sahip olan bentonit kilinin likit limit değerinde kullanılan zirai kimyasalların yoğunluğu ve türüne göre %24'e kadar düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan düşük plastisiteye

sahip olan kaolin kilinde ise plastikliğine oranla daha az düşüş gözlemlenmiştir. Çalışma en kısa ifadeyle killerin su tutma kapasitesinde düşürücü etkiye yol açabilmektedir. Dolayısıyla kilin mekanik davranışında farklılıklarına yol açacağı çalışma sonucunda net olarak görülmektedir. Bu davranış farklılığı yapı – zemin etkileşimi açısından tasarımda ve davranış tahminlerinde belirsizlik yaratabilecek boyutlardadır. Diğer yandan zirai ilaçlar, toprak yapısını bozmasının yanı sıra yeraltı su kaynaklarına sızarak suyu kirletmekte ve bu su kaynaklarının tarımsal faaliyetlerde kullanılması ayrıca yerleşim alanlarında içme sularına karışma riskinin bulunması sağlıklı yaşamı olumsuz etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] A. Karaca ve O. C. Turgay, “Toprak kirliliği”, Toprak Bilim. ve Bitki Besleme Derg., c. 1, sayı 1, ss. 13–19, 2012.
- [2] N. Ağca, “Toprak kimyasının dün, bugün ve geleceği”, Toprak Bilim. ve Bitki Besleme Derg., c. 1, sayı 1, ss. 6–8, 2012.
- [3] E. Yıldırım, “Tarımsal zararlılarla mücadele yöntemleri ve kullanılan ilaçlar”, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, sayı 219, s. 1, 2000.
- [4] C. H. Benson, J. N. Meegoda, R. G. Gilbert, ve S. P. Clemence, “Risk-Based Corrective Action and Brownfields Restorations”, 1998.
- [5] H. I. Inyang, J. L. Daniels, ve V. Ogunro, “Engineering controls for risk reduction at Brownfield sites”, içinde Risk-Based Corrective Action and Brownfields Restorations, 1998, ss. 229–252.
- [6] J. N. Meegoda, B. Chen, S. D. Gunasekera, ve P. Pederson, “Compaction characteristics of contaminated soils: Reuse as a road base material”, Geotech. Spec. Publ., ss. 195–209, 1998.
- [7] E. Evgin ve B. M. Das, “Mechanical behavior of an oil contaminated sand”, Environ. Geotechnol. Usmen Acar (eds), Balkema, Rotterdam, 1992.
- [8] H. A. Al-Sanad, W. K. Eid, ve N. F. Ismael, “Geotechnical properties of oil-contaminated Kuwaiti sand”, J. Geotech. Eng., c. 121, sayı 5, ss. 407–412, 1995.
- [9] I. B. Gratchev ve K. Sassa, “Cyclic Behavior of Fine-Grained Soils at Different pH Values”, J. Geotech. Geoenvironmental Eng., c. 135, sayı 2, ss. 271–279, 2009.
- [10] I. Gratchev ve I. Towhata, “Stress–strain characteristics of two natural soils subjected to long-term acidic contamination”, Soils Found., c. 53, sayı 3, ss. 469–476, 2013.
- [11] M. G. A. Eltarabily, A. M. Negm, O. C. S. Valeriano, ve K. E. Gafar, “Effects of diammonium phosphate on hydraulic, compaction, and shear strength characteristic of sand and clay soils”, Arab. J. Geosci., c. 8, sayı 12, ss. 10419–10432, 2015.
- [12] T. W. Lambe ve R. V. Whitman, “Soil mechanics, series in soil engineering”, Jhon Wiley Sons, 1969.
- [13] J. K. Mitchell ve K. Soga, “Fundamentals of soil Behavior”, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 2005.
- [14] R. D. Holtz, W. D. Kovacs, ve T. C. Sheahan, “An introduction to geotechnical engineering”, 2011.