

Bentonitin Mühendislik Özelliklerine Mikronize Kolemanitin Etkisi

Ömür ÇİMEN¹, Burak DERELİ²

^{1,2}*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta.*

Özet: Mühendisler, bilgisini ve sağduyusunu kullanarak yapılarını koşullar uygun olduğu sürece sağlam zemine oturtmayı amaçlar. Ancak dünyada artan nüfus, sanayileşme, tarım arazilerinin azalması vb. durumlardan dolayı sağlam zemin bölgelerinin azalması, düşük direnç ve yüksek deformasyon özellikli zayıf zeminlerin kullanılma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden mühendisler, yapının temelini zeminin geoteknik şartlarına uygun olarak tasarlamayı veya zemini en uygun şartlarda iyileştirmeyi tercih ederler.

Problemler zeminler mühendislik yapılarında hasarlara neden olduğu için uzun yıllardır bu zeminlerin farklı içerikli katkıları kullanılarak iyileştirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, bor grubu oksitlerinden biri olan kolemanit minerali kullanılması durumunda, bentonit kilinin mukavemet değeri üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma iki farklı amaca hizmet etmektedir. Bunlardan birisi zeminin mukavemet özelliklerinde iyileştirme sağlamak, diğeri ise ülkemizde bol miktarda bulunan bor mineraline yeni kullanım alanı kazandırmaktır.

Deneysel çalışmalarda, bentonit kiline ağırlıkça %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında kolemanit minerali ilave edilmiştir. İlk olarak tüm karışımlar için optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir. Daha sonra serbest basınç ve şişme deneylerinde kullanılacak numuneler optimum su muhtevalarında hazırlanarak deneylere tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre %2 kolemanit katkılı numunelerde en fazla serbest basınç mukavemeti ve maksimum birim hacim ağırlık ve en az optimum su muhtevası elde edilmiş, kolemanit miktarının artmasıyla şişme basıncında azalmalar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, Bentonit, Kolemanit

Effect of Micronized Colemanite to Engineering Properties of Bentonite

Abstract: Engineers aim structures to fix strong ground by using their information and common sense, so long as it appropriates circumstances. However, because of increasing world population, industrialization, declining the agricultural lands and so on, concluding reveals to be used a poor grounds to a necessity declining strong ground regions, low resistance and properties of deformation. Therefore, engineers, in accordance with the terms of the geotechnical in terms of the basis of construction, prefer to improve floor with the most appropriate conditions.

Because expansive and dispersive soils damage engineering structures, extensive studies on using additives to ameliorate the effects of these soils have been conducted for many years. In this study, the effects of colemanite, which is one of the boron oxide group, upon strength value have been experimentally investigated. This study serves two different purposes. One of them is to improve soil strength properties and the other one is to open a new usage area for boron which is abundant in our country.

In experimental studies, colemanite mineral at a weight of %2, %4, %6, %8, and %10 was added to bentonite clay. First, optimum water content value for all the mixtures was determined. Later the samples to be used for unconfined compression test and swelling test were subjected to experiments after they were prepared with optimum water content. According to the test results, maximum unconfined compressive strength and maximum dry density and minimum optimum water content have been obtained in the samples prepared with %2 colemanite and with the increasing amount of colemanite, a decrease in swelling pressure has been observed.

Key Words: Ground Improvement, Bentonite, Colemanite

1.Giriş

Mühendislik yapılarında meydana gelen hasarların birçoğu, zemin hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Bu hareketlenmeler, zeminin fiziksel, kimyasal özellikleri mineralojik yapısı ve dokusal özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Geoteknik Mühendisliği açısından en problemlili zemin türü hacim değiştirme özellikleri fazla olan kil minerallerine sahip killi zeminlerdir. Bu zeminler kuru iklimlerde yüzeydeki buharlaşma yoluyla ya da yer altı su seviyesinin alçalmasıyla büzülüp iklimin değişerek zeminin tekrar suyla temas etmesi halinde hacimlerinde büyük artışlar meydana gelir. Bu tür zeminler üzerine inşa edilen havaalanı, karayolu, istinat duvarları gibi birçok hafif yapı düşük düşey basınç nedeniyle farklı oturmalara maruz kalmakta ve büyük hasarlar meydana gelmektedir (Holtz ve Kovacs, 2010; Bell, 2006).

Dünyada birçok bölgede olduğu gibi bizim ülkemizde de killi zeminler mevcuttur. Ülkemizde Orta ve Güneydoğu Anadolu ile Batı Anadolu'nun bazı kesimlerinde geniş bir alana yayıldığı dikkate alındığında, hızlı artan kentleşme, yapılaşma, demir yolu, karayolu inşası gibi faktörler nedeniyle şişen killerin hacim değişikliklerinin kontrol altına alınması gerekmektedir (Aydın, 2010).

Bu tür zeminlerin iyileştirme yöntemleri arasında literatürde yaygın olarak kullanılan yöntem kimyasal iyileştirme metodudur. Bu metotta zemine kireç, çimento, cüruf, pomza vb., katkı maddeleri ilave edilerek mühendislik özellikleri iyileştirilmektedir.

Dünya bor üretiminin büyük bir bölümü ülkemizde ve Amerika Birleşik Devletinde yapılmaktadır. Ancak bu değerli madenin ülkemizde kullanım alanı oldukça azdır. Bu nedenle Türkiye'de bol miktarda bulunan bor mineralinin değişik kullanım alanlarının kazandırılması gerekmektedir. Ancak bu sayede ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

Bu çalışmada yüksek şişme özelliği gösteren bentonit kilinin içine belli oranlarda bor grubu oksitlerden olan Kolemanit minerali karıştırarak mühendislik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bentonit Kili

Bentonit, montmorillonit ailesinin bir parçası ve %500 ya da daha yüksek likit limit değerine sahip bir kil mineralidir. Alüminyum ve magnezyum içeriği zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışmasıyla veya bozulması sonucunda oluşurlar. Ticari anlamda ise gelişmiş sıvı emici ve kolloidal özelliği olan her kile bentonit denmektedir. Türkiye'de bulunan bentonit yatakları Şekil 1'de görülmektedir (Akbulut, 1996;Önem, 2000;Mitchell ve Soga, 2005;Karakaya, 2013).



Şekil 1. Türkiye'de bulunan killer ve bentonit yatakları (MTA, 2013)

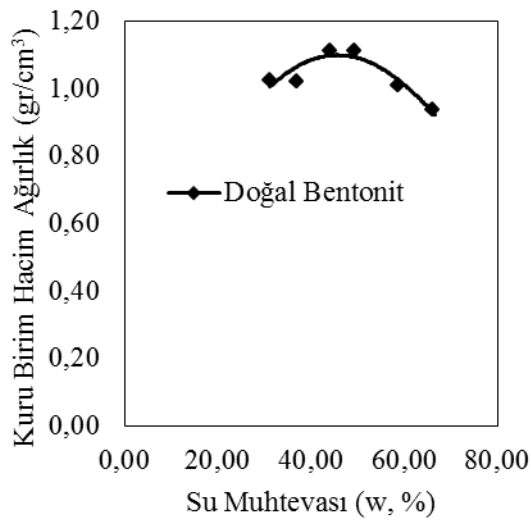
Bentonitler su ile temasa geçtiklerinde az veya çok şişerler. Bentonitler şişme yeteneklerine göre fazla, orta ve az şişen bentonitler olmak üzere üçe ayrıldığı gibi içerdikleri değişebilir sodyum kalsiyum iyonlarına göre üç grupta sınıflandırılabilir. Bu bentonitlerin oluşumları bakımından jeolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Bunlar içerisinde ticari olarak önemi bulunan sodyum bentonittir. Ancak sodyum bentonitin tabiatta rezervi az bulunmaktadır. Bu nedenle fazla şişme özelliği göstermeyen kalsiyum ve sodyum-kalsiyum bentonitler çeşitli kimyasal yöntemlerle sodyum bentonite dönüştürülmektedir (Akbulut, 1996;Özdemir ve Özcan, 2005).

Bu çalışmada Karakaya Bentonit'den temin edilen doğal sodyum bentonit kullanılmıştır. Doğal sodyum bentonite ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Doğal sodyum bentonitin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	
SiO ₂	61.28
Al ₂ O ₃	17.79
Fe ₂ O ₃	3.01
CaO	4.54
Na ₂ O	2.70
MgO	2.10
K ₂ O	1.24
Fiziksel Özellikler	
Nem (%)	8.0
Elek Analizi (200 mesh) %	1.24
Viskozite 600 rpm 'de	46
Plastik Viskozite (PV)	15.6
YP(YieldPoint/plastic)	0.4

Ayrıca Karakaya Bentonit'den alınan doğal sodyum bentonit üzerinde Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim dalı Zemin Mekaniği laboratuvarında kıvam limitleri, piknometre, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Bentonit numunesine ait kompaksiyon eğrisi Şekil 2'de diğer deney sonuçları Çizelge 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Doğal bentonitin standart kompaksiyon eğrisi

Çizelge 2. Doğal sodyum bentonitin mühendislik özellikleri

Özellikler	
LL(%)	640
PL(%)	28
PI(%)	612
γ_{kmax} (gr/cm ³)	1.12
w _{opt} (%)	48
G _s	2.69
q _u (kg/cm ²)	1.87

Burada LL(likit limit), PL (Plastik limit), PI (Plastisite indisi), γ_{kmax} (maksimum kuru birim hacim ağırlık), w_{opt}(Optimum su muhtevası), G_s (Özgül ağırlık), q_u (Serbest basınç mukavemetini göstermektedir).

2.2. Bor

Bor, yeryüzünde yaygın olarak bulunan bir elementtir. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikler olarak daha çok Türkiye ve A.B.D'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır (BOREN, 2013).

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81 olan metalle ametalarası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir. Bor, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor tabiiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Oksijenle bileşik halde(bor oksit olarak) bulunur. Kimyasal formülü B₂O₃ olan bor oksit'in Na, Ca, Mg gibi metal elementlerle yaptığı bileşiklere borat adı verilir. Dünyada en çok bulunan bor mineralleri bu boratlardır. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali

olduğu bilinmektedir. Bunlardan ticari önemi olan boratlar; Boraks (Tinkal), Kolemanit, Üleksit, Probertit, Kernit (Razorit), Hidroborasit ve Pandermittir (BOREN, 2013).

2.2.1. Kolemanit

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4.5, özgül ağırlığı 2.42 gr/cm^3 'dir. B_2O_3 içeriği %50.8' dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözülür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve kestelek yataklarında, Dünya'da A.B.D' de bulunur (Anonim,2001).

Çizelge 3. Öğütülmüş kolemanitin kimyasal ve fiziksel özellikleri

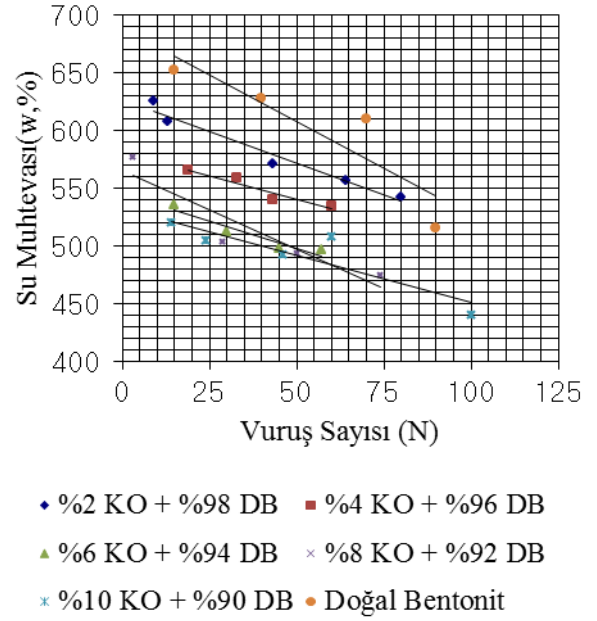
İçerik	Birim	Değer
B_2O_3	%	40.00+/-0.50
CaO	%	27.00+/-1.00
SiO_2	%	4.00-6.50
SO_4	%	0.60 Max.
As	ppm	35 Max.
Fe_2O_3	%	0.08 Max.
Al_2O_3	%	0.40 Max.
MgO	%	3.00 Max.
SrO	%	1.50 Max.
Na_2O	%	0.35 Max.
Kızdırma Kaybı	%	24.60 Max.
Nem	%	1.00 Max.
Dökme yoğunluğu	ton/m^3	1.00 Max.

3. Deneysel Çalışmalara Ait Bulgular

Doğal sodyum bentonitin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için bentonite ağırlıkça %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında kolemanit ilave edilerek kıvam limitleri, standart kompaksiyon, serbest basınç ve sabit hacimli şişme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemeler kısaltılarak doğal bentonit (DB), kolemanit (KO) olarak kodlanmıştır.

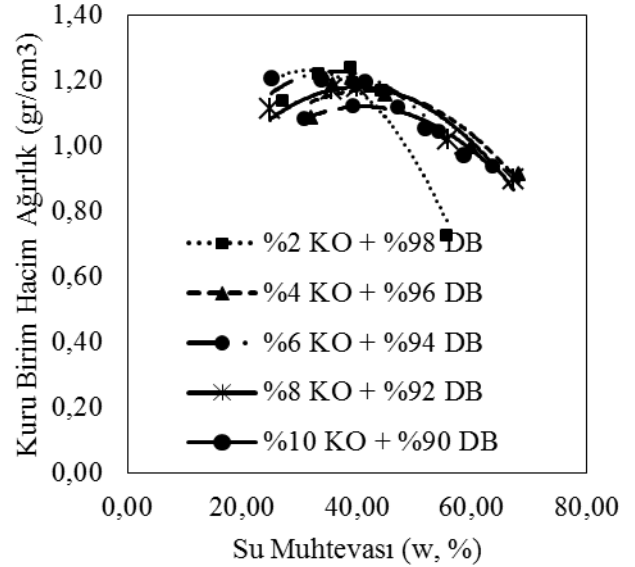
Likit limit deney sonuçlarına göre kolemanit miktarının artmasıyla bentonit kilinin plastisite indisi azalmaktadır. Deney sırasında elde edilen vuruş sayıları-su

muhtevası ilişkileri şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen likit limit değerleri

Standart kompaksiyon deneyleri sonucunda elde edilen kompaksiyon eğrileri Şekil 4' de görülmektedir.



Şekil 4. Doğal bentonite kolemanit ilave edilmesiyle elde edilen kompaksiyon değerleri

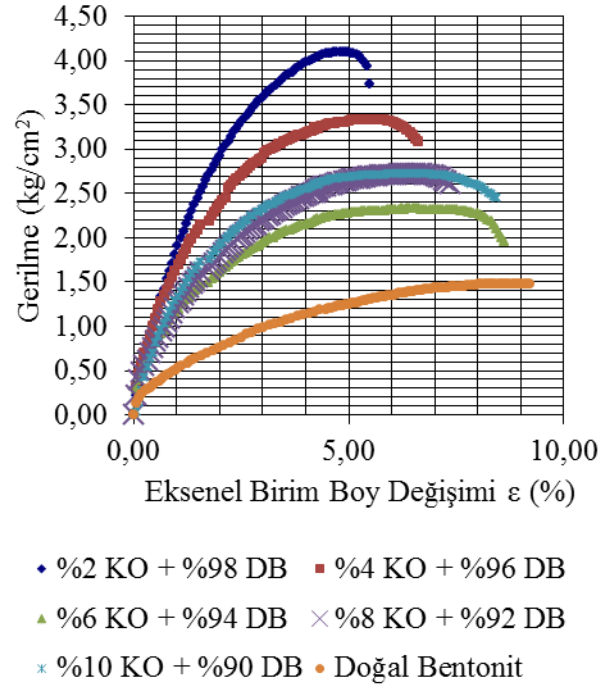
Katırsız bentonit üzerinde yapılan kompaksiyon deneyleri sonucunda maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.12 gr/cm^3 optimum su muhtevası % 48 olarak

belirlenmiştir. Katkılı numuneler üzerinde yapılan deneylerde ise %2 Kolemanit katıldığında maksimum kuru birim hacim ağırlığının arttığı, optimum su muhtevasının azaldığı belirlenmiştir.

Şekil 5’de numunelere ait serbest basınç değerleri ve gerilme şekil değiştirme eğrileri görülmektedir. Serbest basınç deneylerinde katkısız bentonit numunesi için serbest basınç mukavemet değeri $1,87 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenirken %2 KO katkı numunede bu değer $4,10 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Sabit hacimli şişme deneyleri sonucunda ise katkısız numunenin $5,12 \text{ kg/cm}^2$ olan şişme basıncı değeri KO miktarının artmasına bağlı olarak $3,59 \text{ kg/cm}^2$ mertebelerine kadar azalmıştır.

Kolemanit katkı numuneler üzerinde yapılan kıvam limitleri, kompaksiyon, serbest basınç ve sabit hacimli şişme deney sonuçları Çizelge 5’ de verilmiştir.



Şekil 5 Doğal bentonite kolemanit karıştırılarak yapılan serbest basınç deneyleri

Çizelge 4. Kıvam limitleri, standart kompaksiyon, sabit hacimli şişme ve serbest basınç deney sonuçları

Numune Özellikleri	LL(%)	PL(%)	PI(%)	γ_{kmax} (gr/cm ³)	w_{opt} (%)	Pşişme (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)
Doğal Bentonit	640	28	612	1,12	48	5,12	1,87
%2 KO+%98 DB.	598	36	562	1,25	38	5,03	4,10
%4 KO+%96 DB.	570	31	539	1,20	40	4,29	3,31
%6 KO+%94 DB	522	32	490	1,13	46	3,86	2,31
%8 KO+%92 DB	530	31,5	499	1,16	40	3,67	2,72
%10 KO.+%90 DB.	512	32	480	1,20	38	3,59	2,72

4.Sonuç ve Öneriler

Doğal bentonite %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında kolemanit katıldığında likit limit ve plastisite indisi azalmaktadır. %2 kolemanit katkı numunede en yüksek maksimum birim hacim ağırlık ve en az optimum su muhtevası elde edilirken serbest basınç mukavemeti de maksimum olmuştur. Kolemanit katkı numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde %2 kolemanit katkısının ideal olduğu belirlenmiştir. Şişme basıncının

azaltılmasında ise kolemanitin daha yüksek oranlarda kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ülkemizde bol miktarda bulunan bor mineralinin farklı kullanım alanlarından biri olan zemin iyileştirmede kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Doğal bentonit kullanılarak yapılan çalışmada kolemanit ilave edildiğinde likit limitin, plastik limitin ve şişme basıncının azaldığı, serbest basınç mukavemetinin arttığı belirlenmiştir. Optimum katkı miktarı ise %2 olarak belirlenmiştir.

5. Teşekkürler

Bu çalışmaya 3237-YL1-12 no'lu proje kapsamında maddi destekte bulunan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

[1] Akbulut A., 1996. Bentonit. MTA Eğitim Serisi-32, 78s, Ankara.

[2] Aydın, S., 2010. Yenikent (ANKARA) Yerleşim Alanı Killerinin Kireç Ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 198s, Ankara.

[3] Bell, F.G., 2006. Mühendislik Jeolojisi ve İnşaat. Çev. Kayabalı, K. Gazi Kitabevi, 795s. Ankara

[4] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001 Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Erişim Tarihi: 16.06.2013.
http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oi_k619.pdf

[5] Holtz, R., Kovacs, W., 2010. Geoteknik Mühendisliğine Giriş. Çev. Kayabalı, K. Gazi Kitabevi, 636s. Ankara.

[6] Karakaya Bentonit, 2013. Bentonit Nedir. Erişim Tarihi: 12.05.2012.
http://www.karakaya.com.tr/?page_id=96

[7] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2013 Bentonit Yatakları. Erişim Tarihi: 16.06.2013.
http://www.mta.gov.tr/v2.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/kil_bentonit.jpg

[8] Mitchell, J.K., Soga, K., 2005, Fundamentals of Soil Behavior Third Edition. John Wiley & Sons, 577s, New York.

[9] Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri. Kozan Ofset, 386s, Ankara

[10] Özdemir, A., Özcan, E., 2005. Bentonitin Sondaj Mühendisliği Özellikleri. Erişim Tarihi: 01.07.2013.
http://www.adilozdemir.com/dosyalar/1278920712_62.pdf

[11] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), 2013 Bor Elementi. Erişim Tarihi: 16.06.2013.

<http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=24>

[12] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN), 2013 Bor Minerali. Erişim Tarihi: 16.06.2013.

<http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=25>