

KİLLİ ZEMİNLERE ÇELİK LİF TAKVİYESİ EKLENEREK ZEMİN MUKAVEMETİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Zeminlerde iyileştirme çok eski tarihlerden beri yapılan bir inşaat mühendisliği faaliyetidir. Bu faaliyet günümüzde gelişen teknolojiyle daha da artmaktadır. Son yıllarda artan nüfusun barınma ihtiyacı karşılayacak yapılara yanıt verecek elverişli zeminler azalmaktadır. Buna karşılık olarak iyileştirme ihtiyacı duyan zeminlerdeki taşıma gücü, konsolidasyon ve deprem esnasında meydana gelebilecek olan sıvılaşma gibi problemler giderilerek yapılaşmaya kazandırılmaktadır. Böylelikle kentlere hem yeni alanlar kazandırılmakta hem de şehirleşmedeki çarpık kentleşmenin önüne geçilmektedir. Zeminlerin durumlarına göre seçilen iyileştirme çalışmalarında takviye elemanlar ilave edilerek güçlendirilebilirler. Bu çalışmada killi zeminlerin iyileştirilmesinde çelik lif malzemesi kullanılmıştır. Çalışma 2021-2022 yıllarında Diyarbakır Karayolları 9.Bölge Müdürlüğü Ar-Ge laboratuvarında yürütülmüştür. Çalışmada killi zeminlere ilave olarak %2,%3,%5 ve %7 oranlarında çelik lif takviye edilerek numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde elek analizi, standart proctor ve CBR deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Zemin iyileştirme , Kil Malzemesi Çelik Lif, Mukavemet.

ABSTRACT

Improvement on the ground is a civil engineering activity that has been done since ancient times. This activity is increasing with the developing technology today. In recent years, suitable grounds to meet the housing needs of the increasing population have been decreasing. In response to this, problems such as bearing capacity, consolidation and liquefaction that may occur during an earthquake in soils in need of improvement are eliminated and they are gained for construction. Thus, both new areas are gained to cities and unplanned urbanization in urbanization is prevented. They can be strengthened by adding reinforcement elements in the improvement works selected according to the conditions of the soils. In this study, steel fiber material was used to improve clayey soils. The study was carried out in the Engineering Faculty Laboratory of Dicle University in 2021-2022. In the study, samples were prepared by adding 2%, 3%, 5% and 7% steel fiber to clayey soils. Sieve analysis, standard proctor and CBR tests were performed on these samples.

Keywords: Soil Improvement, Clay Material, Steel Fiber, Strength.

1. GİRİŞ

Zayıf zeminlerdeki bazı problemler taşıma gücü, konsolidasyon, şev göçmeleri gibi sorunlardır. Zeminlerde iyileştirme çalışmaları bu problemlerin üstesinden gelerek yeni kullanım alanları yaratmayı amaçlar. Son yıllarda bu çalışmalar hız kazanmış olup bunlardan biri de zeminlere katkı malzemeleri ekleyerek güçlendirmektir. Bu bağlamda özellikle atık malzemeler başta olmak üzere birçok katkı malzemesi kullanılmıştır. İnşaat yikintıları, pvc atıkları, lastik parçaları, uçucu kül, mermer tozu, kireç ve çimento gibi birçok malzemeyi sayabiliriz.

Alpyürür çalışmasında gaz betonun zayıf zeminler üzerinde etkilerini araştırmıştır. İnşaatlarda duvar malzemesi olarak kullanılan gaz betonun kullanımından artan atıklardan malzeme temin edilmiştir. Yüksek plastisite ve düşük plastisiteye sahip zeminlerde farklı oranlarda gaz beton eklenerek bir dizi laboratuvar deneylerine tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda zayıf zeminlerde taşıma gücünü artırdığı belirlenmiştir.[1]

Özdemir çalışmasında killi zeminlerin iyileştirilerek geoteknik özelliklerini incelemiştir. Bu zeminlerin konsolidasyon, taşıma gücü ve donma – çözülme gibi problemlerini çözmek için zeminlere katkı malzemesi olarak doğal ve sentetik olmak üzere iki ayrı lif kullanmıştır. Farklı oranlarda ve uzunlukta kullanılan bu lifler zeminlerin geoteknik özelliklerini artırdığı görülmüştür.[2]

Ülker çalışmasında zemin ve kireç reaksiyonları araştırmış olup farklı durumlarda bu karışımın davranışlarını incelemiştir. Bir tasarım yöntemi olmadan zemin-kireç karışımını özgün deneyler yaparak araştırmıştır. Bu bağlamda zemin malzemesi olarak yüksek plastisite ve düşük plastisiteli killeri katkı malzemesinde ise kireci farklı oranlarda kullanmış olup numuneler üretilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde zemin laboratuvar deneyleri yapılmış olup çalışma sonucunda kirecin her iki tipte zemin üzerinde fiziksel özelliklerde artış sağladığı gözlemlenmiştir.[3]

Ural ve arkd. çalışmasında zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde pvc atıklarını kullanmışlardır. Zemin malzemesi olarak kil, katkı malzemesi olarak farklı oranlarda atık pvc ve aderans artırıcı olarak %10 oranında çimento malzemesi eklenerek numuneler oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda serbest basınç dayanımında artış olduğu gözlemlenmiştir.[4]

Kılıç çalışmasında çimento katkısının problemli zeminleri iyileştirmede kullanılabilirliğini araştırmıştır. İngiltere’de çalışmasını gerçekleştirmiş olup bu bölgeden elde edilen killi zeminlerde çimento dozajını farklı miktarlarda ekleyerek zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneylerini yapmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda zeminlerde mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir.[5]

Alkaya çalışmasında farklı tip uçucu küllerin zeminin iyileştirmede kullanılabilirliğini incelemiştir. Uçucu küllerin çimentolaşma ve puzolanik özelliklerinin sınıflandırılmasını göstererek hem beton içerisinde kullanımını hem de zeminlerde iyileştirebilme gücü taşıdığını ortaya koymuştur. [6]

Vural çalışmasında deprem sonucu meydana gelen yıkıntı olarak bırakılan atıkları kullanarak problemlili zeminlerde iyileşmeye olan katkısını araştırmıştır. Zemin malzemesi olarak kaolen kili seçilmiş olup yıkıntı atıklarla beraber farklı oranlarda kireç ve kaolin eklenmiştir. Yapılan laboratuvar deneylerinde taşıma gücü oranında artış olduğu saptanmıştır.[7]

Çetinkaya çalışmasında atık malzeme olarak uçucu külü killi zeminlere ekleyerek geoteknik özelliklerini araştırmıştır. Zemin malzemesi olarak CH seçilmiş olup ilave olarak ta farklı oranlarda geosentetik lif kullanılmıştır. İkili ve üçlü kombinasyonlar yapılarak numuneler hazırlanmış olup laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda taşıma gücü oranında ve serbest basınç mukavemetinde çok yüksek oranlar elde edilmiştir.[8]

Zorluer ve Usta çalışmasında zeminlerin iyileştirilmesi konusunda mermer tozunun etkisini incelemiştir. Zemin malzemesi olarak seçilen Meşelik kiline fabrikalardan elde edilen atık mermer tozları belirli oranlarda takviye edilerek numuneler oluşturulmuştur. Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda mermer tozunun zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.[9]

2. MATERYAL VE METOD

Killi Toprak

Çalışmada kullanılan numuneler Diyarbakır ilinin Dicle Havzasından alınan killi zemin toprağı kullanılmıştır.

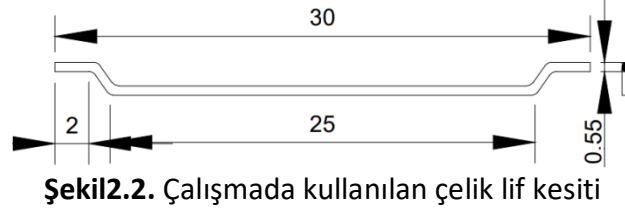
Çelik Lif

Çalışmanın amacına uygun olarak düşük geoteknik özelliklere sahip olan killi zemin numunelerinin mekanik özelliklerini arttırmak adına çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lifler üretici firmadan 25kg'lık torbalar şeklinde temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan çelik lifler iki ucu kancalı şeklindedir. İki ucu kancalı çelik lifler, 30mm yüksekliğinde olup 0.55mm çapındadır.[10]



Şekil2.1. Çalışmada kullanılan çelik lifler

Bu tez çalışması kapsamında üretilen numunelerde kullanılan çelik liflere ait en kesit şekil ve boyut özellikleri Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Çalışmada kullanılan çelik liflerin özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Lif Tipi	Çap (mm)	Boy (mm)	Narinlik	Çekme (MPa)	Dayanımı	Özgül Ağırlık
Çelik	0.55	30	55	1100		7.85

Malzeme Karışım Oranları

Literatür araştırmalarında malzeme ile ilgili yapılan deneylerde ana malzemenin kuru birim ağırlığı baz alınarak hesaplandığı görülmüştür. Ar-Ge laboratuvarında bulunan deney aletimiz 6 kg zemin ve katkı malzemesini almakta olup bu şekilde numuneler hem kuru ağırlık hem de oranlar baz alınarak hazırlanmıştır. Takviye malzemesi olan çelik lifler toplam kuru ağırlığın %2 , %3, %5 ve %7'si olarak eklenmiştir.

Çizelge 2.2. Zemin numunesi karışım ağırlıkları

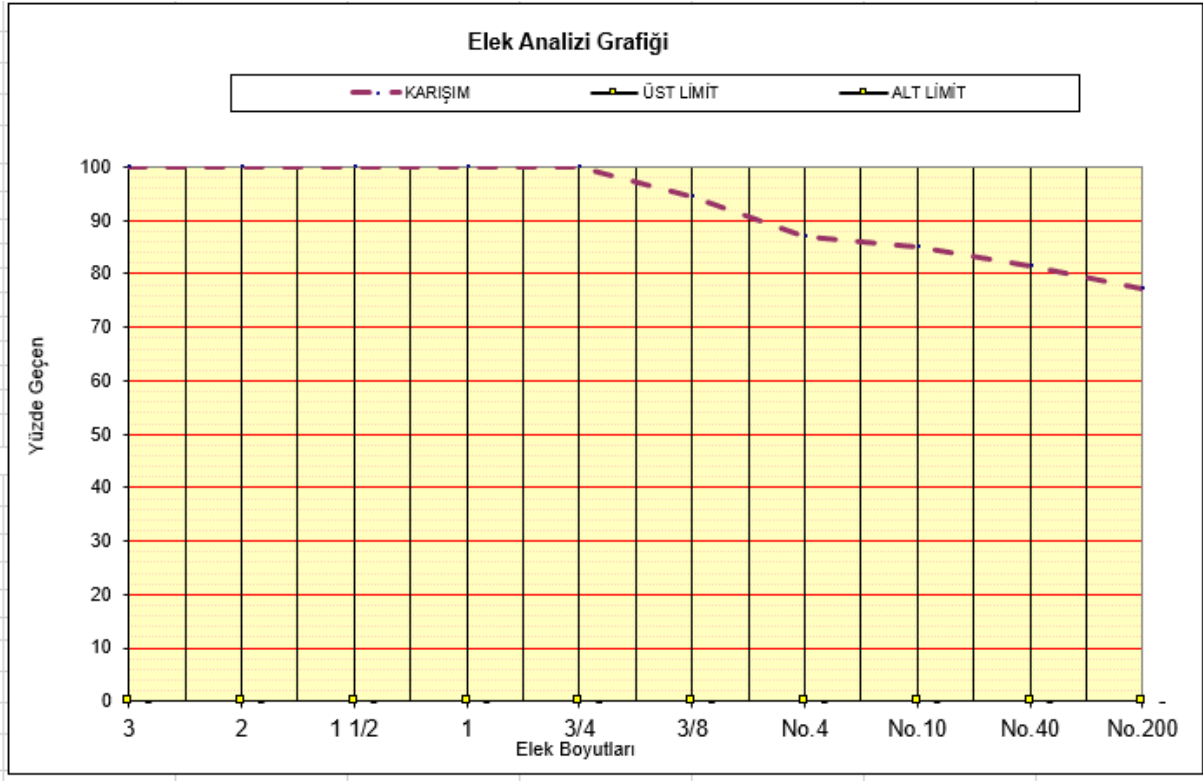
Malzeme	Ağırlık (kg/kg)
Zemin Malzemesi + katkı	6
%2 Çelik lif	0.120
%3 Çelik lif	0.180
%5 Çelik lif	0.300
%7 Çelik lif	0.420

Yapılan Deneyler

Çalışmada yapılan deneyler Diyarbakır Karayolları 9.Bölge Müdürlüğü Ar-Ge laboratuvarında yapılmıştır.

Elek Analizi

Dicle Havzasından alınan toprak numune üzerinde elek analizi yapılmış olup sonuçlar çizelgede belirtilmiştir. Zemin türü killi zemin olarak belirlenmiştir.



Şekil2.3. Elekt Analizi Grafiği

Elde edilen kil zemin numuneleri üzerinde Atterberg Kıvam limitleri deneyleri TS1900-1veAASHTOT-8 standartları kapsamında yapılmış olup deney sonuçları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge2.3 Zemin numunesinin geoteknik Özellikleri

Zemin Numunesi	Likit Limit (WL)	Plastik Limit (Wp)	Plastisite İndisi (Ip)	Zemin Türü
Saf Killi Zemin	45,7	21,6	24,1	Killi Zemin

Standart Proktor

Standart Proktor deneyinde nihai amaç optimum su muhtevasını ve kuru birim hacim ağırlıklarını belirlemektir. Killi zemin numunelere farklı oranlarda (%2, %3, %5, %7,) takviye edilerek oluşturulan ürünler teste tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge2.4'te gösterilmiştir.

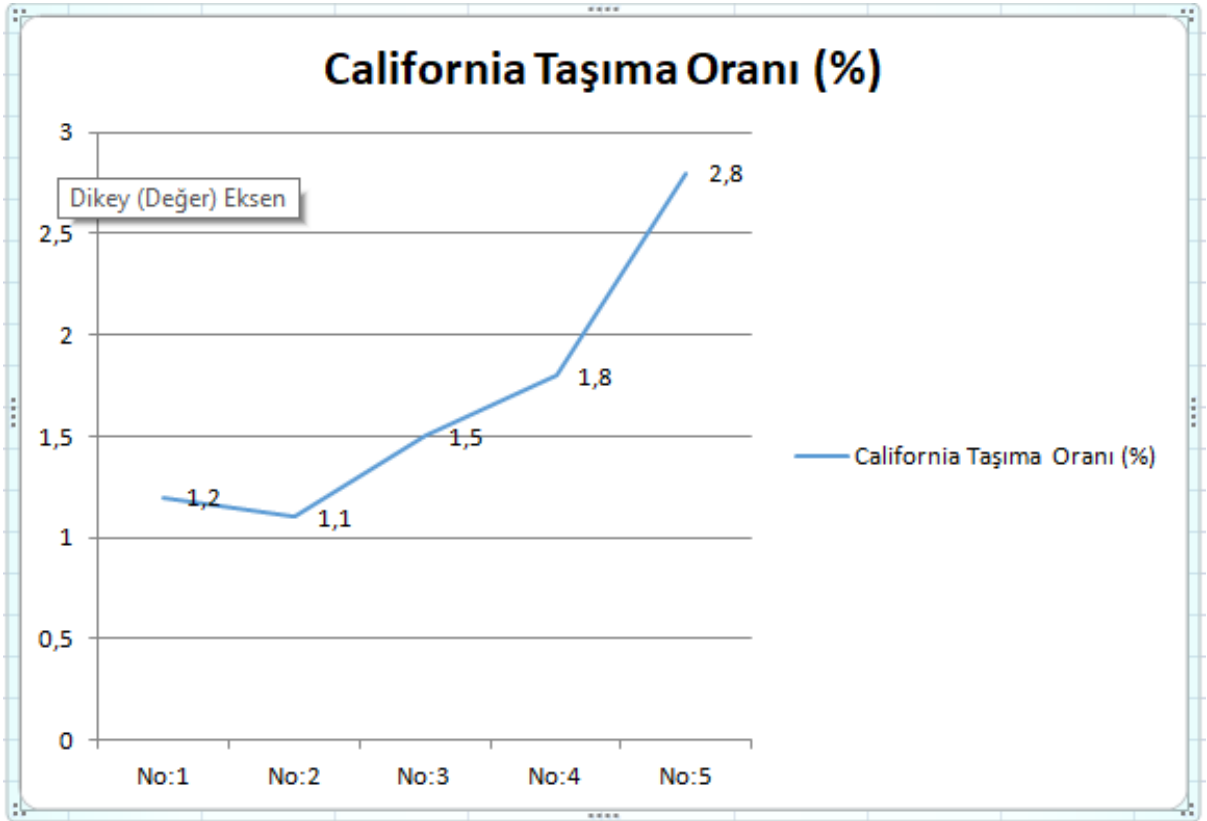
Çizelge2.4 Standart Proktor Deney Sonuçları

Numune No	MAKSİMUM KURU BİRİM AĞIRLIK $\gamma_{max}(kN/m^3)$	OPTİMUM SU İÇERİĞİ $W_{opt} (%)$
No: 1 (%100 Doğal Zemin)	15,74	18,9
No:2 (%98 Doğal Zemin + %2 Çelik Lif)	15,32	17,3
No:3 (%97 Doğal Zemin + %3 Çelik Lif)	15,15	16,4
No:4 (%95 Doğal Zemin + %5 Çelik Lif)	16,10	15,9
No:5 (%93 Doğal Zemin + %7 Çelik Lif)	16,64	14,9

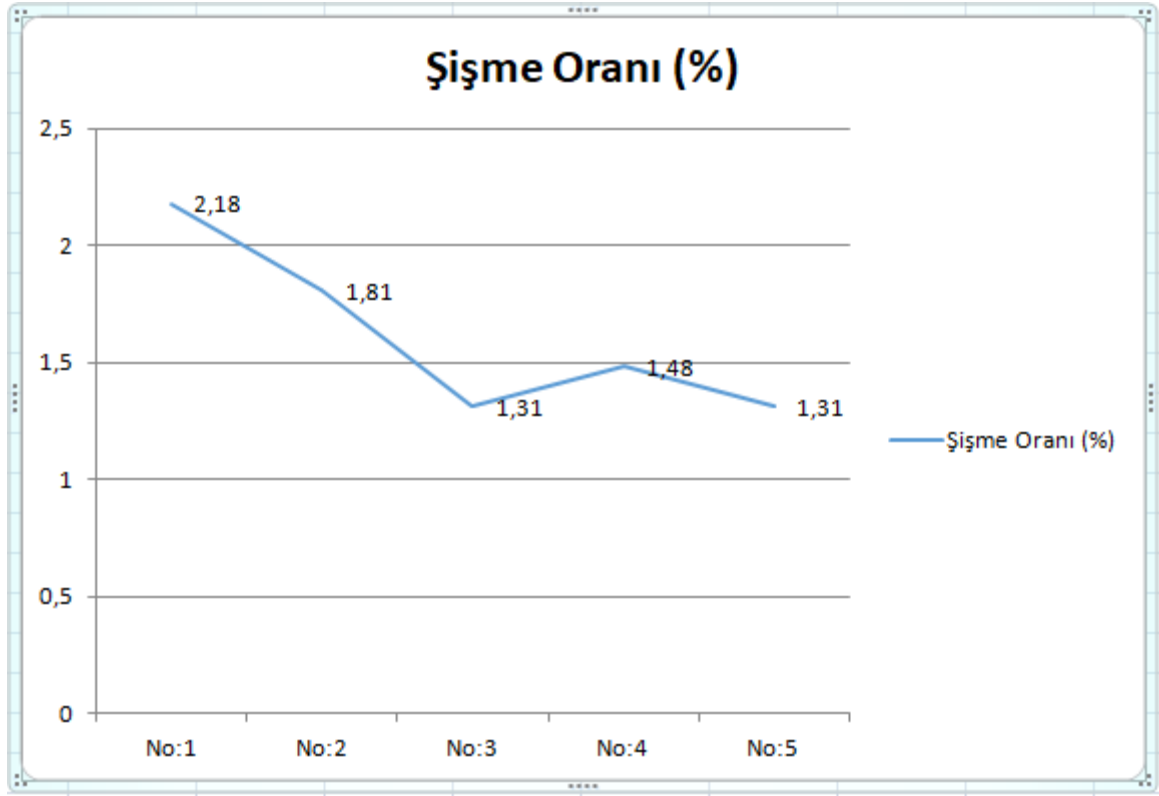
Deneye tabi tutulan numunelerimizin su muhtevası oranları %18,9 ile %14,9 arasında ve kuru birim hacim ağırlıkları 15.74 kN/m³ ile 16.64 kN/m³ arasında değişmektedir. Sonuçlardan da anlaşıldığı üzere su muhtevası azaldıkça kuru birim hacim ağırlığı artmaktadır.

CBR (Taşıma Gücü Oranı)

Bu deneyde üretilen numunelerin taşıma gücü oranı elde edilerek zemin dayanımı ölçülür. CBR deneyinde kullanılacak olan numuneler standart proktor ile belirlenen optimum su muhtevasında hazırlanır. Daha sonra CBR kalıbında sıkıştırılarak deneye hazır hale getirilir. Yine killi zemin numunelere farklı oranlarda (%2, %3, %5, %7,) takviye edilerek oluşturulan ürünler teste tabi tutulmuştur. Sonuçlar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

**Şekil2.4.** Numunelere ait CBR Grafiği

Grafik incelendiğinde doğal zeminde CBR değeri %1.2 iken en yüksek değer No:5 (%93 Doğal Zemin + %7 Çelik Lif) numunesinde görülmüştür. Doğal zemine eklenen %2,%3 ve %5 olarak karışımın sonucunda CBR değerleri ise sırasıyla 1.1 , 1,5 ve 1.8 olarak görülmektedir.



Şekil2.5. Numunelere ait Şişme Yüzdeleri

Şişme yüzdeleri grafiği incelendiğinde en yüksek şişme oranı doğal zeminde %2.18 olarak bulunmuştur. En düşük değer 3 No'lu ve 5 No'lu numunelerde %1.31 olarak elde edilmiştir. Grafik doğrusal bir azalma izlese de 4 No'lu numunede küçük bir artış göstererek %1.48 olarak bulunsada yine azalma eğilimine girmiştir.

3.BULGULAR

Numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları ve standartların limitleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Standartlara göre numunelerimize uygulanan standart proktor deneyinden elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.450t/m³(14,22(kN/m³))'ten büyük veya eşit olmalıdır. CBR değerlerinin ise 10'dan büyük olması gerekmektedir.

Numune No	California Taşıma Oranı CBR (%)	Şişme (%)	Max. Kuru Birim Hacim Ağırlık γ_{kmax} (kN/m ³)
No: 1 (%100 Doğal Zemin)	1,2	2,18	15,74
No:2 (%98 Doğal Zemin + %2 Çelik Lif)	1,1	1,81	15,32
No:3 (%97 Doğal Zemin + %3 Çelik Lif)	1,5	1,31	15,15
No:4 (%95 Doğal Zemin + %5 Çelik Lif)	1,8	1,48	16,10
No:5 (%93 Doğal Zemin + %7 Çelik Lif)	2,8	1,31	16,64
Şartname Limiti	10 < CBR	Şişme ≤ 3	14,22(1,450t/m ³) $\leq \gamma_{kmax}$
Deney Standardı	TS1900-1 AASHTOT-193	TS1900-1 AASHTOT-193	TS1900-1 AASHTOT-99

Çizelge3.1 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Şartname Limitleri

Üretimi yapılan tüm numunelerin deney sonuçları ve standartların limitleri taşıma gücü açısından karşılaştırıldığında, doğal zemin numunesinde ve çelik lif katkısı olan numunelerde CBR değeri %10'un altında kalmıştır. Numuneler maksimum kuru birim hacim ağırlık açısından incelendiğinde ise çelik lif katkılı bütün numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları standartların limitinin üzerine çıkmıştır. Yine deney sonucunda numunelerde meydana gelen şişmelere bakıldığında şişme oranı 3 ten düşük kaldığı görülmektedir.

4.SONUÇ

Diyarbakır ili Dicle Havzasından alınan killi zemin toprağı üzerinde CBR ve Standart Proktor deneyleri yapılmıştır. Taşıma gücü düşük olan killi zemin toprağında iyileştirme yapabilmek için farklı oranlarda (%2 , %3, %5 ve %7) çelik lif takviyesi yapılmıştır.

Standart Proktor deney sonucunda çelik lif takviyesi arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlığı önce azalma gösterip sonra en yüksek seviyesine çıkmıştır.

California Taşıma Oranı (CBR) en can alıcı sonuçlar elde edilmiştir. Doğal zeminde taşıma gücü oranı %1,2 çıkmış olup 2 Nolu zemin numunesi hariç (%1,1) diğer tüm numunelerde giderek artan yüksek değerler elde edilmiştir. Nitekim en yüksek taşıma gücü oranı No:5 (%93 Doğal Zemin + %7 Çelik Lif) numunesinde %2,8 olarak gerçekleşmiştir. Bu da doğal zeminde %133 oranında bir zemin iyileştirmesi anlamına gelmektedir.

Şişme oranlarında şartnameye uygun değerler elde edilmiş olup çelik lif ilaveli tüm numuneler doğal zemin şişme oranının altındadır.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında taşıma gücü zayıf olan killi zeminler çelik lif katkısıyla iyileştirilebildiği görülmüştür. Böylelikle zayıf olan alanlar yapılaşma sahasına kazandırılabilir. Ayrıca numune sayıları artırılarak ve deneyler geliştirilerek optimum

değerler aranabilir. Özellikle çimento katkısı farklı oranlarda eklenerek serbest basınç mukavemetinin araştırılması önerilmektedir. Ve son olarak eklenebilir ki atık çelik lifler ile tüm deneyler yapılarak bir kıyaslama yapılabilir ve böylelikle atık malzemelerin geri dönüştürülerek zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğine bakılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Alpyürür M. , Zemin iyileştirmesinde öğütülmüş gazbeton kullanımı / Reuse of aerated autoclaved concrete waste in soil stabilization , İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Bilim Dalı, 2016. 147s.
- [2]Özdemir B., Doğal/sentetik lif ve uçucu kül katkılı killerin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması / Investigation of some geotechnical properties of synthetic/natural fiber and fly ash reinforced clays , Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Geoteknik Bilim Dalı , 2019. 116s.
- [3] Ülker Ş. , Karayolu altyapısında zeminlerin kireçle iyileştirilmesi / Improvement of soils by lime in highway subgrades , Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı , 2005. 363s.
- [4]Ural N., KUT Ü., GÜLSEVİNÇ N., Atık PVC ile Zemin İyileştirme. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik/TÜRKİYE
- [5]KILIÇ G., Çimento İle Zemin Stabilizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı , 2008. 102s.
- [6]Alkaya D. Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5, No: 1, 2009 (61-72).
- [7]Vural İ. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Zemin İyileştirmesinde Kullanılabilirliği Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Academic Platform Journal of Engineering and Science 7-1, 01-06, 2019
- [8]Çetinkaya M. Polipropilen liflerin uçucu kül zemin karışımlarında geoteknik özelliklere etkisi / Influence of polypropylene fibers on geotechnical properties of soil-fly ash mixtures, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Bilim Dalı, 2012. 229s.
- [9]Zorluer İ.,Usta M. ZEMİNLERİN ATIK MERMER TOZU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümü, AFYON , TÜRKİYE IV MERMER SEMPOZYUMU (MERSEM '2003) BİLDİRİLER KİTABI 18-19 Aralık 2003
- [10]Kayan Y. Bitlis pomzası ile üretilen bimslerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılması ve geliştirilmesi / Experimental investigation of mechanical properties of Bitlis pumps

