

İnşaat Yıkıntı Atıkları Kullanılarak Zeminlerin Serbest Basınç Dayanımının İyileştirilmesi

¹İsa Vural, ^{*1}Tahir Akgül, ¹Emine Aydın

^{*1}Faculty of of Technology, Department of Civil Engineering Sakarya University, Turkey

Özet

Türkiye’de ki 1999 Marmara depremi sonrası bilim otoritelerinin ortaya koyduğu gerçekler, Türkiye’de ki yapı stoğunun hızlı bir şekilde yenilenmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir. Bu çerçevede hızlı bir kentsel dönüşüm süreci başlatılmış ancak bu sürecin sonunda ortaya çıkacak inşaat yıkıntı atıkları için yapılan planlamalar yetersiz kalmıştır. Kentsel dönüşümden meydana gelecek atıkların doğaya terkedilmeleri çevre kirliliğine sebep olacağı ve bu atıklar büyük hacimlerinden dolayı depolama problemi olduğu gerçeği gündeme gelmiştir. Bu sorunlara çözüm olarak, bu atıkların geri kazanımı bir çözüm olarak düşünülebilir. Killi zeminlerin yol alt tabakasında olduğu durumlarda stabilizasyon problemleri ortaya çıkmakta ve bu sorun farklı zemin iyileştirmeleri ile düzeltilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu inşaat atıklarının, killi zeminlerde zemin stabilizasyonuna etkisini incelemek amacı ile yıkıntı atıklarının zeminlerin serbest basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada doğal zemin numunesi olarak kabul edilen kaolen kiline değişik oranlarda inşaat yıkıntı atığı katılarak örnekler numuneler hazırlanmıştır. Bu zemin örneklerine serbest basınç deneyi yapılarak mukavemetlerinin ne kadar arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Dönüşüm, Zemin İyileştirmesi, İnşaat Yıkıntı Atığı, Serbest Basınç Dayanımı

Improvement of Uniaxial Compressive Strength Properties by Construction Demolition Waste

Abstract

Turkey has entered in the process of urban transformation after 1999 Marmara earthquake. New buildings are being constructed instead of the structures that losing sustainability in this process. If the wastes from the collapsed buildings throw to nature, they will cause environmental pollution. In addition this waste will cause problems in the area due to the large size to be stored. At first on this subject Turkey Ready Mixed Concrete Association realize a project is ‘‘Research of reusing potential of construction and demolition wastes that consisted urban transformation project’’. In this study kaoline clay is accepted as natural soil sample and added construction demolition waste at different rates. The compaction test was made on prepared samples and the maximum dry density values at the optimum water content was obtained. Then soil samples compacted at the optimum water content obtained and Uniaxial Compressive Strength test performed. The end of the experiments positive results obtained and has been determined that construction demolition wastes are useful to improve in the clay soil formation.

Key words: Construction Demolition Waste, Soil Improvement, Uniaxial Compressive Strength .

1. Giriş

Problemler bir zemin üzerine yapılan herhangi bir yapı değişik oturmalar gösterebilir, düşük kayma gerilmelerine ve yüksek sıkışabilirliklere sahip olabilir. Zeminin taşıma kapasitesinin iyileştirilmesi zemin ıslahı yöntemleri ile sağlanabilir. Genel olarak, katkı malzemeleri ile karışım tekniği kullanılarak yapılan stabilizasyon, zemine kolay uyum sağlaması yönünden zemin durumunu iyileştirmek için büyük etkiye sahiptir. Katkı malzemesi olarak kireç, çimento, asfalt kullanılabilir gibi bazı atık maddeler de kullanılabilir. Atık asfalt (RAP), beton inşaat molozu, by-pass çimento tozu (CBPD), bakır cüruf, petrolle kirlenmiş zemin (PCS), eski araba lastiği, uçucu kül gibi atık maddelerin kullanılmasıyla çevre korunmasına da katkıda bulunulup maliyet açısından da kazanç sağlanır. Bu maddelerin geri dönüşümü pratik değildir ancak, zeminin ıslahı için kullanılabilir.

Çevre kirliliği birçok ülkenin sorunudur. Atık malzemelerin bina ve yol yapımında uygulanması mümkündür. Literatürde atık malzemeler kullanılarak yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu atık asfalt (reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregate), beton inşaat molozu, by-pass çimento tozu (CBPD), bakır rengi cüruf, petrolü bozuk zemin (PCS), eski araba lastiği, uçucu kül gibi atık malzemelerin zemin katkı malzemesi olarak kullanılıp zeminin mühendislik özelliklerinin iyileşebileceğini görmüşlerdir.

Kayma mukavemetini arttırmak, geçirimsizlik ve suya isteği azaltmak, hacim değişimini en aza indirmek gibi amaçlarla yapılan çalışmaların her zaman bilimsel olduğu söylenemez. Ayrıca endüstri yan ürünleri ve atıklarının kullanılması jeolojik ortamın kirlenmesine yol açabilmiştir. İncelenen yüzlerce maddeden sadece birkaçının sürekli uygulama olanağı bulunduğunu göstermektedir. Bunlar etkinlikleri yanında, ucuzluk ve gereksinim duyulduğunda kolayca bulunabilme özelliğine göre çimento, bitüm, kireç, fosforik asit, kalsiyum bileşikler, reçine ve polimerler, son olarak da çok değerli iyon içeren maddelerdir [1]

Çalışmada doğal zemin numunesi olarak kabul edilen kaolen kiline değişik oranlarda inşaat yıkıntı atığı, katılarak farklı karışımlarda numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde kompaksiyon deneyi ile zeminin optimum su içeriğindeki maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Zeminlerin stabilizasyonunda stabilizör seçimi için, zemin cinsi, stabilizasyonun amacı (stabilite artışı, kaplama kalınlığının azalması, vb.), zeminin hangi özelliğinin iyileştirilmesi, maliyet ve elde edilme kolaylığı gibi hususlar daima göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle literatürde bölgesel şartlar altında kullanım yerlerine göre stabilizatöre bağlı olarak değişen birçok iyileştirme yöntemi mevcuttur. Tüm ince taneli zeminler; kireç kullanımı suretiyle daha düşük plastisiteye ve daha iyi işlenebilirliğe sahip olacak şekilde dönüştürülebilir. Kireçle işleme tabi tutulmuş zeminin dayanım karakteristikleri; esas itibarıyla zemin cinsine, kullanılan kirecin tipine, kireç yüzdesine ve kür koşullarına bağlıdır. Şişen killerin stabilizasyonu için gereken kireç katkı miktarının; normal olarak ağırlıkça % 1-3 arasında olduğu, ilave katkının plastik limiti değiştirmeden dayanımı artırdığı ifade edilirken diğer bir çok çalışmada da katkı yüzdesinin ağırlıkça % 2-8 arasında olduğu belirtilmektedir [2].

Çimento stabilizasyonu ile zemin iyileştirme granüllü zeminlerin toz haline getirilerek çimento eklenmesi ve karıştırılması ile gerçekleşmektedir. Gerekli zemin bölümleri toz haline getirme, çimento ekleme, ıslatma ve sıkıştırma yöntemlerinin kullanımı ile iyileştirilmektedir. Bu yöntem gevşek ve akışkan olmayan, yoğunluk ve nem olarak tüm zemin derinliğinde benzerlik, aynılık gösteren zeminlerde uygulanmakta ve etkili olmaktadır [3].

Bitümlü stabilize edilen ince daneli zeminler için suya dirençli ama yüksek kohezyonlu ve kumlu zeminler için daneler arasında güçlü bağ kuvveti olan stabil bir yapı elde edilir. İki veya daha fazla zemin karıştırılarak iyi bir gradasyon elde edilebilirse nispeten daha az miktarda asfalt katkısı ile su geçirimsiz satabil zeminler elde edilebilir. Katbek (sıvı) asfaltın zemine püskürtülmesi ile geçirimsiz ve durabil yüzeyler elde edilebilmektedir. Eğer ince daneli zemine kireç katılırsa asfaltın zemine penetre etmesi ve homojen bir karışım elde edilmesi de oldukça kolaylaşmaktadır. Kumlu zeminler veya kumun bol olarak bulunduğu yerlerde bitümlü stabilizasyon yapıldığında mukavemetli ve dayanıklı zeminler elde edilebilmektedir. Hatta bu tip stabilizasyonlara sahip zeminler, kaplamada ideal alt temel tabakası olarak da kullanılabilir. Böylece kaplama kalınlığının azalmasından dolayı daha ekonomik olabilmektedir. Bitümlü stabilizasyon için her türlü kum kullanılabilir olmakla beraber iyi derecelenmiş ve kil toprakları ile organik maddeler içermeyen kumlarda daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Bitümlü stabilizasyonda; asfalt, katran gibi maddeler kullanılır. Kıyma taş, çakıl, kum gibi taneli zeminler, sıcak sıvı bitümlü madde katılıp karıştırılarak, serilerek kompaksiyon uygulanır. Bitümlü maddelerin, taneler arasında bağlayıcılık ile geçirimsizlik sağlama işlevleri vardır. Bitüm, asfalt vb. petrolden elde edilen siyah, yapışkan, sıcakken sıvı olan üründür. Kullanılacak malzemenin, kil ve organik maddelerden arınmış olması gerekir. Bitümlü maddeler, miktar olarak, %5-10 oranında katılır. Bitümlü stabilizasyon, özellikle yollarda, yüzey kaplamasında kullanılır. [3]

Uçucu kül, silika, alümina, değişik oksitler ve alkalilerden oluşan bir faz olup fabrika atığıdır. Hidrate kireç ile reaksiyona girerek çimentolama etkisi gösterir. Bu nedenle kireç- uçucu kül karışımları yol alt temel ve temellerinde kullanılırlar. %10- 35 kül +%2-10 kireç karışımları genelde uygun karışımlardır. Kömürle çalışan termik santrallerin bacalarından toplanan daneli malzeme olan uçucu kül adı verilen malzeme kireçle birlikte zemine karıştırıldıkları zaman kireç-baca külü ve kireç- killi zemin arasında pozzolanik reaksiyonlar meydana geldiği gibi aynı zamanda baca külü iri daneler arasındaki boşlukları dolduran bir işlev yerine getirmektedir [3].

Yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı özelliklere sahip olduğunun belirlenmesiyle birlikte dünyada 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren bu malzemeyi içeren bağlayıcıların ticari olarak üretimine başlanmıştır. Yüksek fırın cüruflarının gerek Portland çimentosu hammaddesi gerekse mineral katkı maddesi olarak kullanılması, sırasıyla 1883 ve 1892 yıllarına rastlamaktadır. Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde değişik isimlerle yüksek fırın cürufu içeren çimentolar üretilmekte ve kullanılmaktadır [4]. ASTM C 618-01'e göre uçucu kül kimyasal içeriklerine göre C ve F sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Her iki gruba da girmeyen üçüncü bir tür sınıflandırılmayan uçucu kül çeşidi de bulunmaktadır. F tipi uçucu kül, bitümlü kömürün yanması ile elde edilir ve çok düşük miktarda kireç (CaO) içermektedir. Bu tür uçucu kül silis ve alumina içerdiğinden, çimentolaşma özelliği çok azdır. Ancak normal ısı derecesinde, nemin etkisi ve muhtemel kireç ile reaksiyona girdiğinde, çimentolaşma meydana gelmektedir. C tipi uçucu kül ise linyit veya kömürün yanması ile elde edilir ve belirli oranda kireç içermektedir. C tipi uçucu kül kireç içerdiği

için reaksiyon hemen meydana gelmektedir buna karşın F tipi uçucu külde ise kireç çok daha az olduğu için reaksiyonu başlatabilmek için dışarıdan ortama kireç ilave edilmesi şarttır. Ferguson'un çalışması da C tipi uçucu külün ilave katkı gerektirmeksizin iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir [5]. Kesme gerilmesi kül-zemin karışımına kül ilavesiyle nonlineer olarak artmaktadır. Yine kül ilavesiyle kohezyon artabilmektedir. Şişen zeminlerde kül ilavesinin artmasıyla birlikte zeminin şişmesinde azalma tespit edilmiştir. İçinde organik maddeler olan kum ve kil karışımının meydana getirdiği gevşek yapılı zemine kül ilavesiyle kohezyon değeri 0.39 kg/cm olurken killi zeminlerde 0.66 kg/cm² bulunmuştur. Kül artışıyla kohezyon da lineer olarak artmaktadır. Sonuçta uçucu kül ilavesiyle taşıma kapasitesi artmaktadır [6]. Şenol ve Edil, oldukça düşük taşıma gücü özelliğine sahip yumuşak ve kısmen organik malzeme içeren zeminlerin, yol inşaatında uçucu kül kullanarak taşıma gücünü arttırmak için stabilizasyonun sağlanmasına ait araştırma sonuçlarını incelemişlerdir. Stabilize edilecek tabakanın kalınlığını ve optimum zemin- uçucu kül-su karışımını belirlemek için çeşitli oranlarda karışımlar seçilmiştir [7]. Bu karışımlar laboratuvar ortamında hazırlandıktan sonra CBR deneyine tabi tutulmuşlardır. Çalışmalarında iki tür zemin kullanılarak yapılan C tipi uçucu kül stabilizasyonunun yumuşak yol altı zemininin mühendislik özelliklerini büyük ölçüde iyileştirdiği ve zemin mukavemetini arttırdığı saptanmıştır. Laboratuarda elde edilen karışım numunelerinin CBR sonuçları, orijinal numunelerinkinden en az on kat daha büyük sonuç vermiştir. Bu sonuç bir sonraki adım olan arazi çalışması için önemli bir veriyi pratik kullanıma hızla sunmuştur. Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu, çok hassas bir çalışma gerektiren arazi çalışmasıdır. Bu nedenle zeminin su muhtevası inşaat süresince ciddi bir şekilde gözlenmelidir. Zeminin karışımından sonra, 2 saatlik süre uçucu külün zemin suyu ile reaksiyona girip çimentolaşmanın başlaması için yeterli bir süredir. Kompaksiyon aşamasının gecikmesi halinde, uçucu kül ile karıştırılan zeminin mukavemeti beklenen değerden daha düşük olabilmektedir [7]. Dermatas ve Meng, ağır metalle kirlenmiş zeminleri atık malzeme olan C sınıfı uçucu kül ile stabilizasyonunu sağlanabileceğini çalışmalarında açıkça ifade etmişlerdir [8]. Kalinski ve Hippley, yaptıkları çalışmalarında optimum su muhtevası değerini %20-%30 değerleri arasında bulmuşlardır. Bu da göstermektedir ki uçucu kül katkısı ile optimum su muhtevası değeri daha büyük olmaktadır [9].

Eski kamyon lastiği kullanarak güçlendirilmiş zeminin taşıma kapasitesi ve oturması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Atık lastiklerin kum zeminde kullanılması yoluyla faydalı olacağı düşünülmüş laboratuarda plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler güçlendirme etkilerini rölatif sıklık, oturma derinliği, güçlendirme tabaka sayısı, lastik tipi ve büyüklüğü gibi etkenler düşünülmüş yapılmıştır. Sonuçta eski lastiklerle güçlendirilmiş gevşek kum zeminin taşıma kapasitesinin 2 kat arttığını ve oturmalarda da yaklaşık %70 oranlarında azaldığını bulmuşlardır. Ayrıca sıkı kumların oturması da %34 oranında azalmıştır [10].

Yapılan diğer bir çalışmada, çimento ile uçucu kül stabilizasyonu hakkında bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Hindistan Delhi'deki Raghat uçucu külü ve Almanya Bochum yakınlarındaki Baumineral uçucu külü uygun zeminlerle karıştırılmıştır. Yamuna kumu ve silt, Rajghat uçucu külü ile ve Rhine kumu Baumineral uçucu külüyle karıştırılmıştır. Zemin- uçucu kül karışımına %3-%9 oranlarında değişen çimento eklenmiştir. Kompaksiyon mukavemeti ve sekant modülü kür zamanının, uçucu kül muhtevasının ve çimento muhtevasının fonksiyonu olarak bulunmuştur. Sonuçlar literatürde sunulanlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta serbest basınç değeri ve sekant modülündeki artışın hiperbolik olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu değerlerdeki artışın katkı

malzemesi artışına bağlı olduğu ve çimento artışı ile arttığı, fakat uçucu kül artışıyla azaldığı bulunmuştur. Çimentonun külden daha fazla etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Su muhtevası, zemin-kül karışımındaki çimento miktarına ve kür zamanına göre değişmektedir. Yani su muhtevası çimento artışıyla azalmaktadır. Çimento miktarının kür zamanından daha fazla etkili olduğu söylenilebilir [11]. Kalinski ve Hippley ise Portland çimentosu ve uçucu küle su muhtevası ve çimento içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki; çimento ve kül ile stabilizasyon çimento muhtevasından ve su muhtevasından etkilenmektedir ve ayrıca kompaksiyon enerjisi de büyük rol oynamaktadır. Optimum su muhtevası %20–30 iken serbest basınç mukavemeti de 1.1–5.5kPa olmuştur [9].

Tüdeş yapığı çalışmada (1996), kireç ve çimento katkısı ile zeminlerin stabilizasyonunu amacıyla Doğu Karadeniz bölgesi zeminlerinden üç tanesini seçerek zeminlerin fiziksel özellikleri rutin deneylerle, mineralojik özelliklerini de DTA (Differential Thermal Analysis) ve XRD (X ışını) deneyleri ile belirlemiştir. Seçilen zeminler değişik oranlarda çimento ve kireç katkılarıyla standart bir enerji ile sıkıştırılmış ve kayma direnci parametrelerini elde edilmiştir. Katkısız durumda aynı enerji ile sıkıştırılan zeminin kayma direnci parametreleri belirlenerek elde edilen iyileştirmeler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kireç ve çimentonun zeminin stabilizasyonunda olumlu sonuçlar verdiğini özellikle % 5 ile % 15 arasındaki katkı oranlarının optimum katkı maddesi içerdiği ve katkı oranının artışının her malzemede stabilizasyonu doğrusal olarak arttırmadığını göstermiştir [12].

3. Materyal ve Metod

Bu çalışmada ana zemin malzemesi olarak bentonit kili kullanılmış, zemin numunesine katkı olarak ise kentsel dönüşüm sonrası ortaya çıkan inşaat yıkıntı atıkları ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan bentonit kiline ait kimyasal içerik aşağıdaki Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bentonit Kili Genel Kimyasal Bileşimi

İçerik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
%	45.65	37.63	0.73	0.27	0.3	0.62	2.4	0.13	0.13

Esas zemin numunesi olarak kullanılan bentonit kiline sırası ile aşağıda Tablo 2’deki farklı oranlarda katkı malzemeleri ilave edilmiştir.

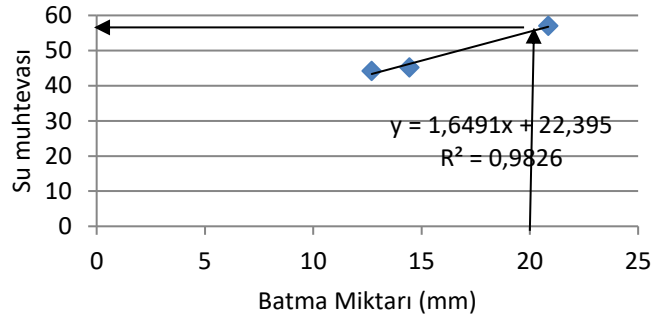
Tablo 2. Çalışmada kullanılan karışım oranları

Karışım No	1	2	3	4	5	6
Kaolen kili	100%	90%	80%	70%	60%	0%
İnşaat Yıkıntı Atığı	0%	10%	20%	30%	40%	100%

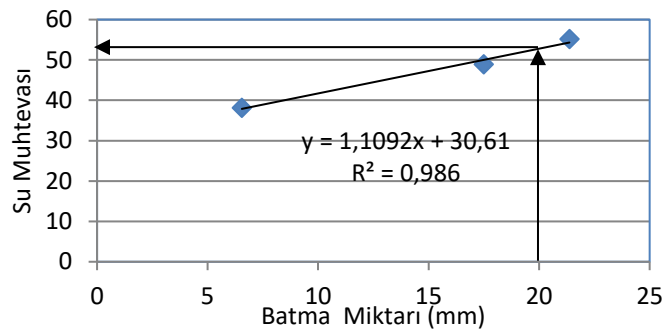
3.1.Likit Limit (Casagrande) Deney Sonuçları

Kompaksiyon deneyleri öncesinden yüksek plastisteli olan kaolen kilinin inşaat yıkıntığı atığı ile karıştırılması sonucu oluşacak muhtemel plastisite kaybı yapılan casagrande deneyi ile takip

edilmiştir. Yapılan deneylerde kaolen kili'nin tek başına analiz edildiğinde Likit Limit su muhtevası % 55.37 olarak ölçülmüştür (Şekil 1). İnşaat yıkıntı atığının % 40 olarak artırıldığında Likit Limit su muhtevasının % 52.98'e düştüğü ölçülmüştür (Tablo 3) [13].



Şekil 1. Kaolen Kili Likit Limit Deney Sonuçları [14]



Şekil 2. %40 İnşaat Yıkıntı Atığı - %60 Kaolen Karışımı Likit Limit Deney Sonuçları [14]

İnşaat yıkıntı atığının artması ile azalarak devam ettiği görülmüştür. Genel olarak inşaat yıkıntı atığının artırılmasının su muhtevasını azalttığı ve plastiklik özelliğinin böylece düşürüldüğü yorumlanmıştır.

Tablo 3. Kıvam Limitleri Deney Sonuçları

Yıkıntı atık Oranı	10%	20%	30%	40%	%0 (Kaolen)
LL(koni)	54.17	53.93	53.25	52.98	55.37
PL	39.95	40.53	40.7	40.84	25.81

3.2. Kompaksiyon Deney Sonuçları

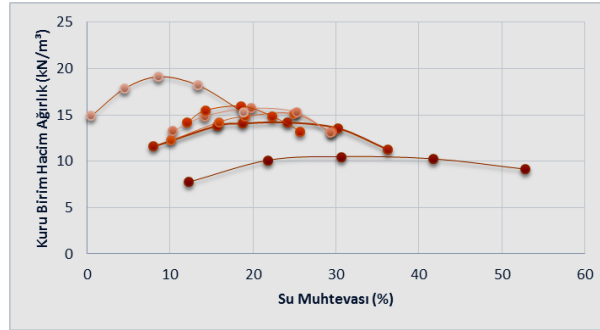
Laboratuar çalışmalarında öncelikle hazırlanacak olan karışıma ait numuneler bir gün süre ile tamamen kuruması için etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numunelerin dış ortamdan etkilenmeden soğumaları için desikatöre bırakılmıştır. Deneyin tam olarak standartlara uygun yapılması amacı ile desikatör içerisine de nem ve rutubet emici (silika jeli) bırakılmıştır. Tüm

numuneler hazırlandıktan Tablo 2’de gösterilen oranlara uygun olarak karışımlar hazırlanmıştır. bu karışımların mümkün olduğu kadar kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesi Bortamın suyunu kaybetmemsi açısından son derece önemlidir. Elde edilen homojen karışımlar sudan ve nemden uzak bir ortamda karıştırılmış olarak 24 saat’lik bir süre ile su içeriğinin numune içerisine homojen nüfuz edebilmesi için bekletilmiştir. Hazırlanan numunelerden her birine %10 su içeriğinden başlanarak % 50 su içeriğine kadar 5 farklı su içeriğinde maksimum kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) değerleri bulunmuştur. Bir gün süre ile bekletilen karışımlar sırası ile Modifiye Kompaksiyon Deneyine tabi tutularak zemin numunesine ait maksimum kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) değerleri bulunmuş ve zemin içerisindeki geçirimsizliğin azaltılarak taşıma gücünün artırılması amaçlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan her deney karışımı için optimum su içerikleri belirlenmiştir. Kompaksiyon deneyi ile zeminlerin maksimum derecede sıkışabilirliklerini tayin ederek bu andaki maksimum yüksek mukavemete ulaşmalarını hedeflenmiştir. Şekil 3’te çalışma esnasında yapılmış olan bir kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen sıkıştırılmış zemin numunesi ve numune bünyesinde meydana gelen boşluklu kısımlar görülmektedir.



Şekil 3. Sıkıştırma işlemi yapılmış bir zemindeki hava boşlukları

Kompaksiyon deneyleri TS 1900-1’de anlatıldığı gibi standartlara uygun bir şekilde yapılmıştır. %100 kil (şahit numune) zemin numunesinden başlanarak hazırlanan her deney örneği için modifiye kompaksiyon deneyi uygulanmış ve numuneye ρ_k değeri bulunmuştur. Bulunan ρ_k değerleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kompaksiyon deney sonuçları

Kompaksiyon deneyleri sonucunda 6 farklı ρ_k değeri elde edilmiştir. Elde edilen ρ_k değerinin bulunduğu nokta numunelerin maksimum doygunluğa ulaştığı kabul edilmiştir. Kompaksiyon deneylerinden çıkan sonuçlara göre en düşük optimum su muhtevası % 100 inşaat yıkıntı atığında görülmüştür. En yüksek optimum su muhtevası ise şahit numune % 100 kil ile yapılan deney sonucunda elde edilmiştir. Karışımlarda İnşaat Yıkıntı Atığının artması ile beraber su muhtevasının düştüğü maksimum birim hacim ağırlığın arttığı görülmüştür. İnşaat yıkıntı atığı ile hazırlanan karışımlarda en yüksek ρ_k değeri 4 ve 5 numaralı karışımlarda elde edilmiştir. Karışımlarda maksimum Birim hacim ağırlık değeri 10.49 kN/m³'ten 15.9 kN/m³'e kadar ciddi bir artış göstermiştir.

Tablo 4. Kompaksiyon Deney Sonuçları

Karışım No	1	2	3	4	5	6
w_{opt} (%)	32.2	22.03	24	20	17	8.7
ρ_k (kN/m ³)	10.49	14.38	14.98	15.85	15.98	19.2

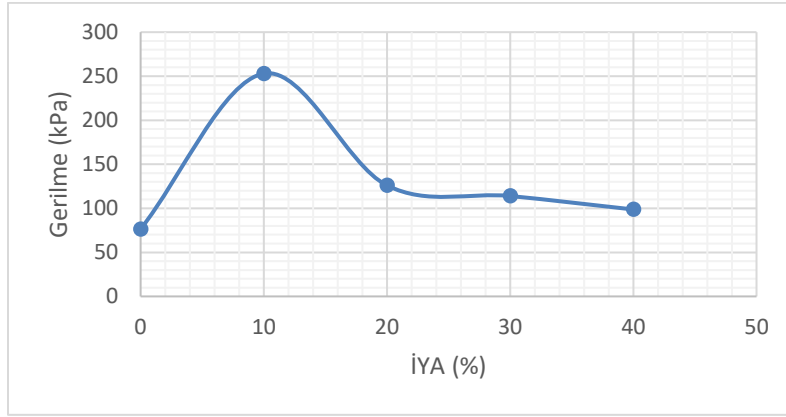
3.3. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Çalışmada optimum su muhtevasında sıkıştırılan numunelerden alınan örnekler üzerinde serbest basma dayanımının bulunması ve atık malzemelerin iyileştirmeye olan katkısının belirlenmesi için TS 1900-2 'ye göre Serbest (tek eksenli) basınç dayanımının tayini deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan serbest basınç deneylerinin sonuçları Tablo 5'de görülmektedir. Kaolen kilinin içerisinde katılan %10-%20-%30-%40 oranlarında inşaat yıkıntı atığının kaolen kilinin serbest basınç dayanımını belirli oranda artırmıştır.

Tablo 5. Serbest Basınç Deney Sonuçları

Karışım Oranları	q_u (kPa)
% 100 Kil	76,5
% 90 Kil-%10 İYA	253
% 80 Kil-%20 İYA	126
% 70 Kil-%30 İYA	114
% 60 Kil-%40 İYA	98,7

Serbest basınç deney sonuçları için yük deformasyon eğrileri Şekil 5'te görülmektedir. Serbest basınç deneyi hesaplamalarına göre şahit numune için bu değer 76,5 kPa olarak hesaplanmıştır. %10 İYA katkılı karışımda bu değer %230 artışla 253 kPa yükselmiştir.



Şekil 5. Serbest Basınç Deneyi Grafiği

Serbest basınç dayanımı için yapılan deneyde inşaat yıkıntı atığının sürekli artışı serbest basınç dayanımını artırmamaktadır. Şekil 5 incelendiğinde, inşaat yıkıntı atığının katkı malzemesi olarak kullanıldığı %10 değerinde maksimum değeri gözlenmiştir. İnşaat yıkıntı atığının katkı malzemesi olarak kullanıldığı %20, %30 ve %40 değerlerinde serbest basınç dayanımının lüner olareak düştüğü görülmüştür.

Yapılan deneylerin sonucunda, karışım içerisindeki inşaat yıkıntı atığı miktarı arttıkça belirli bir orana kadar artış, daha sonra Serbest basınç dayanımı düşmektedir. Genel olarak tüm karışım oranları Serbest Basınç dayanımı arttırmaktadır. Ancak, %100 kaolen kilinden oluşan karışımın Serbest basınç dayanımı 76.5 kPa iken, %10 inşaat yıkıntı atığın içeren karışımın Serbest basınç dayanımı değeri 253 kPa'dır. Bu sonuçlar bize, zemin içerisindeki inşaat yıkıntı atığı miktarı arttıkça, zeminin dayanımının artmadığını, karışım oranlarına göre optimum bir değer ulaşıldığını göstermiştir.

4. Sonuçlar

Ülkemizde son yıllarda deprem güvenliği sebebi ile gündeme kelen kentsel dönüşüm sonucu ortaya çıkacak inşaat yıkıntı atıklarında bu alanda yeni bir çevre problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemi azaltabilmek amacı ile bina ve yol yapımında atık malzemelerin kullanılabilirliği sürdürülebilirlik ve çevre şartları açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Literatürde atık malzemeler kullanılarak yapılan araştırmalara ek olarak bu çalışmada zemin katkı malzemesi olarak inşaat yıkıntı atığı kullanılarak killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilebilceği konusu araştırılmıştır. Killi zeminlerde kullanılan bir çok zemin iyileştirme malzemesi vardır. Fakat bunlar genel olarak doğadan hazır olarak alınan malzemelerdir. Bu çalışma ile alternatif bir malzeme olarak son zamanlarda ülkemizde yürütülen kentsel dönüşüm atıklarının iyileştirmeye muhtemel katkılarını yoprulamak için serbest basınç dayanımı sonuçları incelenmiştir.

Yapılan deneylerin sonucunda, inşaat yıkıntı atığının sürekli artışı serbest basınç dayanımını artırmamaktadır. görüldüğü gibi inşaat yıkıntı atığının %10-%20 oranları aralığında maksimum değeri gözlenmiştir. Serbest basınç dayanımının en yüksek değeri %10 İYA 253 kPa bulunmuştur. %30-%40 oranlarında ise belirgin düşüş olmuştur.

Çalışma sonucunda kil içerisinde katılan inşaat yıkıntı atığının kilin serbest basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. İnşaat yıkıntı atığının da zemin iyileştirmede bir katkı olarak kullanılabilirliği ispatlanmıştır.

Bu çalışmayı takiben zamana bağlı olarak (kürleme), serbest basınç dayanımının artışının belirlenebilmesi amacı ile sonraki çalışmalarda değişik kür sürelerinde serbest basınç deneyleri yapılarak muhtemel puzolanik aktivitelerin araştırılması yapılacaktır. Ayrıca bu iyileştirilmenin zeminin diğer mekanik özelliklerini hangi yönde etkilediğinin araştırılmasında başka bir bilimsel çalışmanın konusunu olarak incelenecektir.

Kaynaklar

- [1] ÖNALP, İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2,K.T.Ü, Trabzon,1983.
- [2] Murat TÜRKÖZ,” Şişen Killerin Kireç Katkısı ile Stabilizasyonu ve Eskişehir- Meşelik Killerine Uygulanması”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XIX, S.2, 2006
- [3] ÖZAYDIN,K., 2000. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul, 261s..
- [4] TOKYAY, M., 2003. Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar. TÇMB/AR-GE/Y97.2,
- [5] Gülsen TUMLUER, Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yls Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
- [6] PRABAKAR, J. DENDORKAR, N. and MORCHHALE, R.K.,2003. Influence of Fly Ash on Strength Behavior of Typical Soils, Construction and Building Materials.
- [7] ŞENOL, A., 2004. Uçucu Kül ile Stabilize Edilen Yumuşak Zeminlerin CBR Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Zemin Mekaniği ve Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [8] DERMATAS, D. , MENG, X. , 2003. Utilization of Fly Ash for Stabilization/Solidification of Heavy Metal Contaminated Soils, W.M. Keck Geoenvironmental Laboratory, Center for Environmental Engineering, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ 07030, USA.
- [9] KALINSKI, M.E. and HIPPLEY,2005. B.T., The Effect of Water Content and Cement Content on the Strenght of Portland Cement-Stabilized Compacted Fly Ash, Fuel84, 1812-1819.
- [10] YOON, Y.W., CHEON, S.H. and KANG, D.S., 2003. Bearing Capacity and Settlement of Tire-Reinforced Sands, Geotextiles and Geomembranes.
- [11] KANIRAJ, S.R. and HAVANAGI, V.G.,1999. Compressive Strength of Cement Stabilized Fly Ash-Soil Mixtures, Cement and Concrete Research 29,673– 677.
- [12] TÜDEŞ, E., 1996. Zeminlerin Kireç ve Çimento Katkısı ile Çözümü. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 161s.
- [13] İ. Vural, “İnşaat Yıkıntı Atıkları ile Zeminlerin Taşıma Gücü Özelliklerinin İyileştirilmesi”, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 3-5 Kasım 2016, Alanya, Türkiye.